

ФІЗИЧНА ГЕОГРАФІЯ

УДК 551.465.2

В. Н. Еремеев¹, академик НАН Украины, докт. физ.-мат. наук, профессор

О. Р. Андрианова², докт. геогр. наук, вед. н. с.

М. И. Скипа², канд. техн. наук, вед. н. с.

¹Государственное научное учреждение «Отделение морской геологии и осадочного рудообразования» Национальной академии наук Украины,
ул. О. Гончара, 55б, Киев, 01054, Украина;

²ГУ «Отделение гидроакустики Института Геофизики им. С. И. Субботина Национальной академии наук Украины»,

ул. Преображенская, 3, Одесса, 65082, Украина

olga_andr@mail.ru

ОСОБЕННОСТИ КОЛЕБАНИЙ УРОВНЯ ВНУТРЕННИХ МОРЕЙ АТЛАНТИЧЕСКОГО ОКЕАНА

По анализу динамики среднегодового уровня моря (1875-2006 гг.) у восточного побережья Балтийского и северного побережья Азово-Черноморского бассейнов установлены значения трендов за весь период. Оценена корреляционная зависимость долгопериодных колебаний уровня в пределах каждого моря и связь между морями. Аналогично выделены особенности сезонного хода и сравнимых морях и оценена их связь. Определены наиболее значимые периоды колебаний уровня морей.

Ключевые слова: уровень моря, Азовское море, Черное море, Балтийское море, многолетний характер изменчивости, тенденции, сезонные особенности, коэффициент корреляции.

ВВЕДЕНИЕ

Морские берега Мирового океана исторически представляют собой наиболее привлекательную для жизни зону. Но именно здесь наиболее ощутимо, а зачастую и разрушительно, проявляются климатические изменения, происходящие на нашей планете. Возросший интерес к региональным проявлениям глобальных климатических изменений в системе океан–атмосфера определяется необходимостью оценки состояния прибрежных районов, которые представляют собой категорию природных контактных зон между двумя средами: с одной стороны – суша, а с другой – слой воды морей и океанов и их дно. Выделение воздействия планетарных общегеографических закономерностей не только на всю динамическую систему Мирового океана, а и на отдельные его регионы, стимулирует развитие механизмов рационального природопользования в береговой зоне для различных пространственно-временных масштабов. Наибольшее практическое значение для хозяйственного проектирования

представляют масштабы сезонной и межгодовой изменчивости уровня моря на побережьях.

Особенности колебаний уровня внутренних морей Атлантического океана рассматриваются на примере Черного с Азовским и Балтийского морей, которые относятся к внутриконтинентальным, имеют разное происхождение и слабую связь с океаном. Эта связь осуществляется не непосредственно, а через соседние моря. По этой причине для них характерны общие черты природы: во всех морях практически отсутствуют приливы; в них почти не проникают теплые Атлантические воды; множество рек приносят в эти моря большое количество пресной воды. Поэтому соленость морских вод невелика и колеблется от 14 – 20 ‰ в центральных частях морей до 1-3 ‰ у берегов, где впадают крупнейшие реки Европы. В результате все моря зимой замерзают в прибрежных частях, за исключением Кавказского побережья Черного моря. Балтийское, Азовское и северная часть Черного морей находятся в пределах шельфа, а побережья в основном представлены низменными равнинами. У устьев рек во всех морях сформировались песчаные косы, лиманы и лагуны. Некоторые из них достигают сотен километров в длину – коса Арабатская стрелка в Азовском море, Куршская коса в Балтийском море, Тендровская коса в Черном море. Песчаные косы отделяют от морей длинные вытянутые заливы.

Представляет интерес рассмотреть особенности долговременных колебаний уровня в этих внутренних морях Атлантического океана: Балтийском море – на севере и Черном с Азовским морями – на юге Европы. Каждое из этих морей является звеном в последовательном процессе переноса вещества и энергии [3] из водосборного бассейна в акваторию общего для них Атлантического океана. При этом каждое из этих морей обладает специфическими климатическими условиями и гидрологическим режимом из-за внутриконтинентального положения и ограниченной связи с океаном.

Влажный умеренно-теплый климат Балтийского моря формируется под влиянием морского умеренного воздуха с Атлантики, вторжением арктических воздушных масс и окружающей суши. Через море часто проходят циклоны, сопровождающиеся западными, юго-западными и северо-западными ветрами и обильными осадками. Водный баланс Балтийского моря определяется главным образом водообменом через Датские проливы, материковым стоком, осадками и испарением. Основным элементом водного баланса является водообмен с Северным морем. Одним из важных элементов режима моря является уровень, вековые колебания которого связаны с интенсивными вертикальными движениями Балтийского кристаллического щита со скоростью 15-20 см в 100 лет в южной части моря и 8-10 см – на севере Ботнического залива [8]. Для уровня режима Балтийского моря характерны сгонно-нагонные колебания и связанные с ними наводнения, наблюдающиеся по всему восточному побережью, большая меридиональная протяженность моря в сочетании с ветрами ура-

ганной силы способствует развитию сильного ветрового волнения. Приливные колебания выражены слабо, но могут возникать свободные колебания – сейши как реакция на внешние воздействия, в частности, на неравномерное распределение атмосферного давления на отдельных участках моря [3].

Черное море, глубокое (объем воды примерно в 25 раз больше объема Балтийского моря при почти равной площади водоема), соединяющееся на юго-западе узким проливом Босфор с Мраморным морем, а через него со Средиземным, и далее с Атлантическим океаном, на севере соединяется Керченским проливом с Азовским морем [3]. Азовское море – самое маленькое и мелкое из рассматриваемых морей, площадь его 38,8 тыс. км², средняя глубина около 8 м, максимальная – 14 м. Южное положение морей обуславливает формирование теплого и влажного субтропического климата без резких температурных контрастов. На северо-западе зимой часты вторжения холодного воздуха с севера и северо-востока, нередки сильные штормы. Циклоны приходят с запада и юго-запада в основном в холодную половину года. Роль приливных колебаний уровня также незначительна. В отличие от Балтийского моря, в водном балансе велика роль осадков и речного стока, положительный баланс пресных вод обуславливает уровень выше, чем в Мраморном море, и избыток воды стекает в бассейн Средиземного моря. Заметный вклад в современное развитие берегов Черного моря и соседнего Азовского моря вносят вертикальные тектонические движения: в течение 20-го века происходил устойчивый подъем уровня обоих морей со скоростью $2,1 \pm 1,3$ мм/год, что превышает среднюю скорость подъема уровня Мирового океана и может быть связано с общим тектоническим погружением котловин этих морей. Наиболее быстро ($3,8 \pm 0,7$ мм/год) поднимается уровень в средней и южной частях Азовского моря и в Днепровском лимане [8].

За последние 100 лет тенденции колебаний межгодового уровня в Балтийском, Азовском и Черном морях проанализированы в работах [1, 12, 13]. В юго-восточной части Балтийского моря колебания уровня характеризуются устойчивым ростом со скоростью до $1,7-1,9$ мм·год⁻¹ и значительной интенсификацией роста со второй половины 20-го века, особенно в последние десятилетия – до $3,7-4,5$ мм·год⁻¹ [12]. В это же время общие тенденции поведения уровня Черного моря характеризуются слабым понижением уровня от начала наблюдений в 70-80-е годы 19-го столетия до 20-х годов 20-го столетия и относительно равномерным ростом со скоростью $1,83 \pm 0,07$ мм·год⁻¹ в последующий период [13]. В последние годы 20-го века изменения уровня в Черном море оцениваются как $2,4-3,2$ мм·год⁻¹ в его западной части (за исключением Одессы, где тренд $-0,9$ мм·год⁻¹) и $4,7-5,1$ мм·год⁻¹ в восточной части (Туапсе, Батуми) [1]. В эти же годы на станции Бердянск, характеризующей Азовское море, тренд составил $3,5$ мм·год⁻¹ [1]. Ранее по данным с 1924 по 1970 гг. было установлено [6], что квазипятилетние колебания уровня в Черном и Балтийском морях происходят в противофазе. Несмотря на то, что общие тенденции изменения уровня моря в каждом регионе ранее выделены, современное со-

стояние динамики его колебаний непосредственно во внутренних бассейнах Атлантического океана, омывающих берега Европы, на масштабах сезонной и межгодовой изменчивости, остается недостаточно хорошо изученным.

Цель работы – оценить многолетний характер и тенденции изменений среднего годового уровня Балтийского, Черного и Азовского морей по более, чем вековому ряду лет (1875-2006 гг.), выделить общие и различные закономерности и особенности на масштабах сезонной и межгодовой изменчивости.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИХ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для исследования привлечены данные измерений уровня на гидропостах Балтийского, Черного и Азовского морей, сведения о которых приведены в открытых источниках [9, 10, 14]. К сожалению, данные наблюдений за уровнем моря по Балтийску и Кронштадту в открытом доступе заканчиваются 2006 годом. Значения уровня на всех постах анализируются в Балтийской системе отсчета уровней (БС). Большинство этих пунктов объединяет возможность использовать для совместного анализа ряды среднегодового уровня за один и тот же период времени с 1875 по 2006 гг., а для среднемесячных значений с 1977 по 2006 гг.

Балтийск, Клайпеда и Кронштадт, представляют водные условия на восточном побережье Балтийского моря и расположены от крайне южной точки (первый) до северо-восточной – в Финском заливе (последний).

Одесса, Севастополь и Керчь расположены на северном побережье Черноморского бассейна, первые два – в западной его части, Керчь – на востоке, в Керченском проливе. Бердянск представляет Азовское море и расположен на его северном побережье.

Анализ долговременных изменений годовых уровней воды во всех пунктах наблюдений выполнен с помощью метода линейной регрессии, для сглаживания нерегулярных колебаний использовалось 5-ти и 11-летнее скользящее среднее. Для установления статистических связей применялся корреляционный анализ, для выделения преобладающих колебаний – спектральный. Методика, с помощью которой проводился анализ статистических характеристик, заключалась в оценке длиннопериодных колебаний в рядах уровня, как квази 5-летних, так и квази 11-летних, и установлении связей между значениями уровня на станциях Азово-Черноморского бассейна и Балтийского моря в различных масштабах изменчивости. Для выделения преобладающих колебаний в многолетних рядах уровня моря использовался пакет программ STATISTICA, основанный на методах теории случайных процессов и спектральном анализе [4].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ АНАЛИЗ

Сравнение многолетних колебаний уровня. Межгодовые колебания среднегодового уровня в рассматриваемых пунктах внутренних морей Атлантического океана на протяжении 130-летнего периода показывают изменения,

которые демонстрируют устойчивую динамику роста, наиболее четко отслеживающуюся по линиям тренда. На примере трех пунктов, приведенных на рисунке 1, можно видеть, что уровень в Балтике проходит выше уровня Азово-Черноморского бассейна. Это особенно хорошо заметно по сглаженному 5-летним и 11-летним осреднением ходу средних уровней на всех этих пунктах (рис. 2). Уровень у восточного побережья Балтики проходит не только значительно выше, чем у северного черноморского побережья, но имеет несколько иной ход.

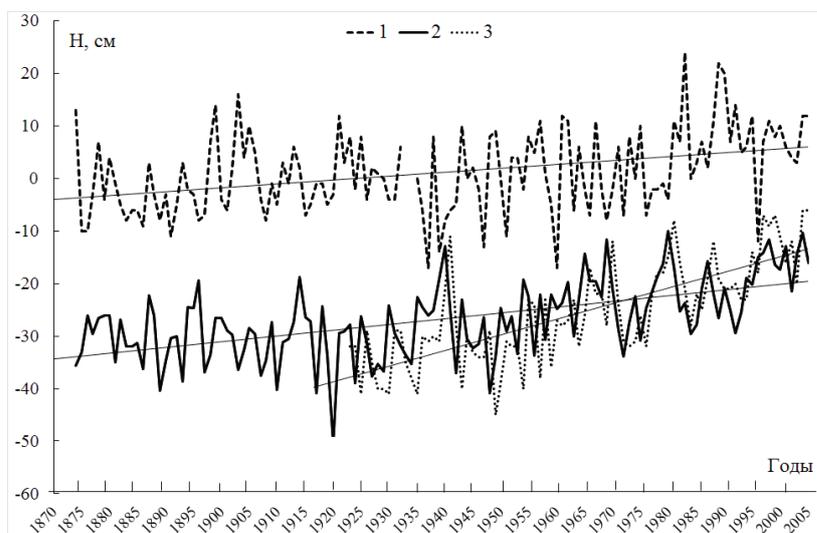


Рис. 1. Межгодовой ход среднегодовых уровней за 1875-2006 гг. и их линейные тренды в Балтийского (1 – Кронштадт, $y = 0,08x - 4,18$), Черного (2 – Севастополь, $y = 0,11x - 33,85$) и Азовского (3 – Бердянск, $y = 0,30x - 52,36$) морей

Разница в положении уровней видна также в табл. 1, в которой приведены рассчитанные средние годовые значения для 6-ти временных интервалов по всем, имеющимся материалам наблюдений.

У азово-черноморского побережья поверхность уровня в рассматриваемых пунктах почти всегда сохраняет устойчивое соотношение: от более высокого в Одессе до самого низкого в Севастополе, причем, на протяжении всего ряда лет такое положение в среднем почти не меняется.

У восточного побережья Балтики ситуация другая – превышение уровня Кронштадта над уровнем Балтийска сохраняется постоянно, но заметно устойчивое сокращение этой разницы к концу века, по данным табл. 1, например, от 17 см (1875-1900гг.) до 10 см (1961-1990 гг.).

Поскольку используемые данные представлены в единой Балтийской системе высот, то возможно сравнение их абсолютных значений – среднегодовые уровни моря у восточного побережья Балтики значительно выше, чем у север-

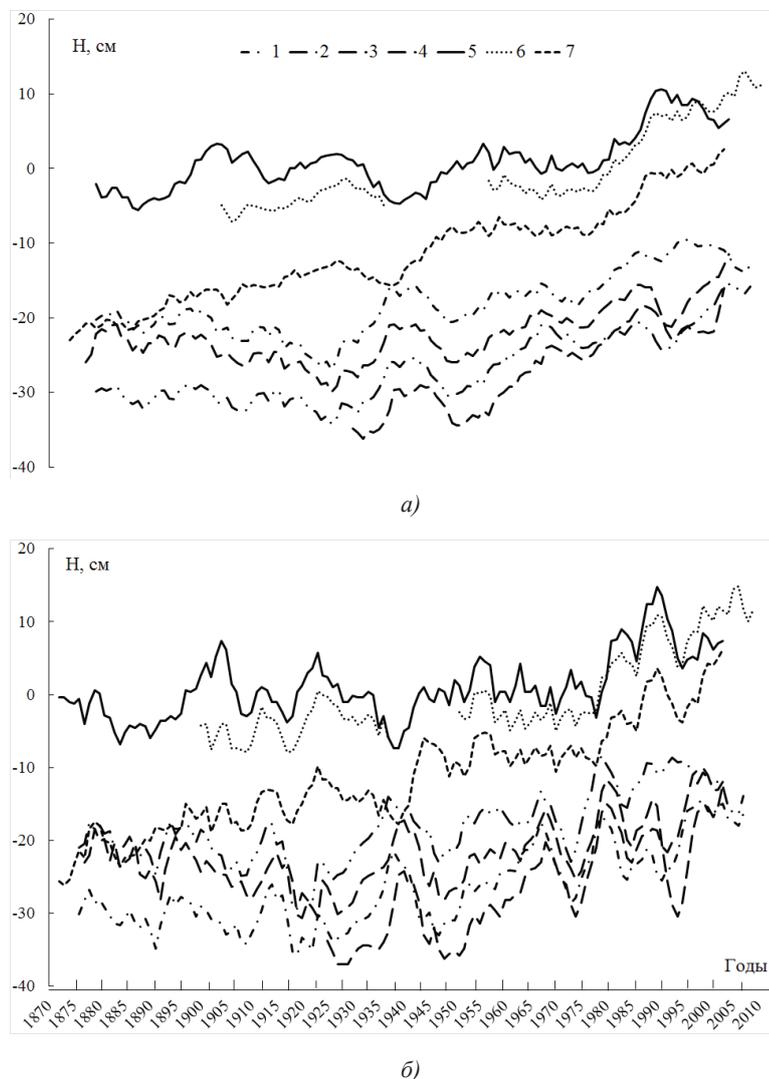


Рис. 2. Межгодовой ход среднегодовых уровней за 1875-2006 гг., сглаженных 5-летним скользящим средним (а) и 11-летним (б) в пунктах Балтийского (1 – Кронштадт, 2 – Клайпеда, 3 – Балтийск), Черного (4 – Одесса, 5 – Севастополь, 6 – Керчь) и Азовского (7 – Бердянск) морей

ного азово-черноморского побережья. Как следует из таблицы 1, среднемного-летний за период 1875-2006 гг. уровень в Балтийске в среднем на 7-11-16 см, а в Кронштадте – на 19-23-28 см выше уровней в Одессе, Керчи и Севастополе, соответственно. Разницы средних по отдельным периодам уровней (табл. 1) не остаются постоянными, варьируют в пределах $\pm(5\div 7)$ см в зависимости от пункта, но всегда положительные.

Таблица 1

Средние годовые уровни (Н, см), их линейные тренды (tr, см·год⁻¹) в пунктах Азово-Черноморского и Балтийского бассейнов в разные интервалы с 1875 по 2006 гг.

Пункт \ Период	1875-2006		1875-1900		1901-1930		1931-1960		1961-1990		1991-2006	
	Н	tr	Н	tr	Н	tr	Н	tr	Н	tr	Н	tr
Кронштадт	1	0,08	-3	0,19	1	-0,06	-1	0,14	4	0,37	7	0,11
Клайпеда	-1	0,13	-	-	-5	0,17	-4	0,03	1	0,46	6	0,68
Балтийск	-11	0,18	-20	0,31	-15	0,18	-11	0,28	-6	0,34	2	0,86
Одесса	-18	0,09	-20	0,07	-24	-0,22	-18	0,02	-15	0,25	-11	-0,25
Севастополь	-27	0,12	-31	0,12	-32	-0,13	-28	0,02	-22	0,01	-18	0,87
Керчь	-22	0,07	-23	0,12	-27	-0,24	-23	-0,02	-19	0,19	-19	1,33
Бердянск	-25	0,29	-	-	-	-	-31	0,01	-23	0,29	-14	0,91

Следует отметить, что для первого из периодов (1875-1900) разницы среднесезонных уровней для Балтийска (историческое название – Пилау) и пунктов Черного моря резко отличаются от аналогичных величин в другие периоды. Эти отличия для разных пунктов Черного моря имеют разный знак, а, значит, не могут безоговорочно указывать на наличие систематической погрешности в измерениях уровня в Балтийске в период 1875-1900 гг. На Балтике превышение уровня в Кронштадте над уровнем в Клайпеде и Балтийске сохраняется постоянно, но заметно устойчивое сокращение этой разницы к концу прошлого – началу настоящего века, например, от 17 см в 1875-1900 гг. до 10 см и 5 см в 1961-90 и 1991-2006 гг. соответственно. У черноморского побережья средний годовой уровень в Одессе всегда выше, чем в Керчи и, тем более в Севастополе, где он самый низкий из этих трех пунктов. К концу 20-го столетия превышение уровня в Одессе над уровнем Керчи несколько увеличивается, а над уровнем Севастополя – уменьшается, разница между уровнем в Севастополе и Керчи сокращается. По пункту Бердянск, отражающему ситуацию в Азовском море также уменьшается величина среднего уровня, который располагается по величине между уровнем в Одессе и Севастополе.

Сравнение линейных трендов для среднего годового уровня Балтийского, Азовского и Черного морей показывает (табл. 1), что динамика изменений уровня моря в обоих морях была вполне согласованной и по знаку, и по величине, как в целом за период, так и за отдельные его интервалы. Долговременный ход уровня в 1875-2006 гг. на Балтике, Черном и Азовском море характеризуется положительным линейным трендом: от 0,07-0,08-0,09 см·год⁻¹ (Керчь – Кронштадт – Одесса) до 0,12-0,18-0,29 см·год⁻¹ (Севастополь – Балтийск – Бердянск). При сопоставлении скорости изменения уровня по интервалам ви-

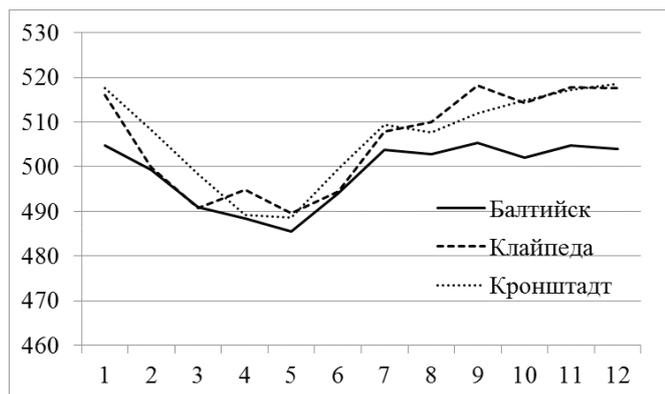
дно, что 1901-1930 годы для обеих морей были годами снижения уровня, особенно на Черном море до $-0,13$ (Севастополь) и $-0,22, -0,24$ см·год⁻¹ (Одесса, Керчь). В 20-30 годы прошлого века в Северном полушарии происходило потепление, уменьшение количества осадков и, как следствие, сокращение речного стока в связи со снижением интенсивности западного переноса, приносящего влажные воздушные массы, что может дать объяснение снижению уровня [8]. Рост уровня в пунктах Черного моря практически не наблюдался и в последующие годы (1931-1960), в то время как на Балтике подъем уровня уже происходил со скоростью $0,14$ мм·год⁻¹ (Кронштадт), $0,28$ см·год⁻¹ (Балтийск).

Скорости роста уровня в Кронштадте, Клайпеде и Балтийске, как видно из табл. 1, чаще всего были выше, чем в Одессе, Керчи и Севастополе. Такое соотношение оказалось нарушенным в 1991-2006 гг., когда чрезвычайный рост скорости проявился в обоих морях (Балтийск, Клайпеда, Севастополь, Бердянск и Керчь) и совпал с повышением роста уровня всего Мирового океана (до $0,32$ см·год⁻¹) в последние десятилетия [11]. Исключение составили Кронштадт ($0,11$ см·год⁻¹) и особенно Одесса ($-0,25$ см·год⁻¹). Причиной таких различий, кроме формального разделения на интервалы, могут быть вертикальные движения земной коры, происходящие с разной скоростью и разным знаком в отдельных частях как Балтийского, так и Черного морей [5, 15]. Известно, что Балтийск находится в районе тектонического опускания юго-западного побережья моря, где происходят заметные проседания суши ($-0,11$ см·год⁻¹ [15]), в то время в Финском заливе наблюдается подъем дна со скоростью $0,2-0,3$ см·год⁻¹ [15], т. е., Кронштадт является тем пунктом, в районе которого подъем земной коры в определенной степени компенсирует повышение уровня моря за счет глобального потепления. Для Одессы появление отрицательного тренда в ходе уровня в конце 20-го века может быть также связано с прекращением происходившего ранее постепенного тектонического опускания суши [5].

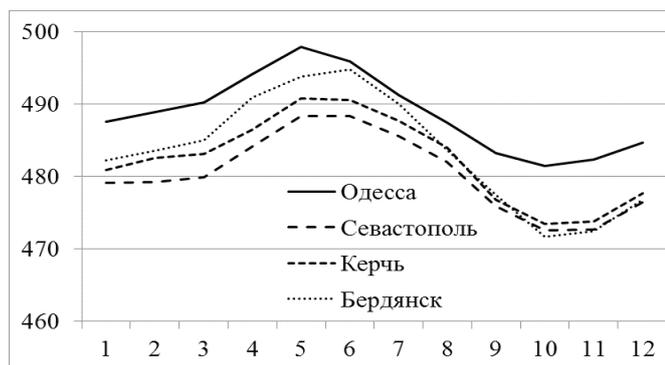
Сравнение сезонных колебаний уровня. Положение уровня в море зависит, главным образом, от основных составляющих элементов водного баланса (атмосферные осадки, сток вод суши, поступление вод из океана, испарение, отток вод из моря в океан), вызывающих периодические колебания уровня. Средний за 1977-2006 гг. сезонный ход уровня в Балтийском и Черном с Азовским морям представлен на рис. 3.

Внутригодовые колебания в пунктах Балтийского моря (рис. 3а) определяются изменением элементов водного баланса, режимом ветров и течений: осенью и зимой наблюдается повышенное стояние уровней с максимумом в декабре-январе, обусловленное усиленной сгонно-нагонной ветровой деятельностью в этот период (ветры преимущественно с западной составляющей). Весной ветры и осадки ослабевают – уровень понижается, наименьший в мае. Резкое повышение уровня к июлю с максимумом в сентябре – результат усиления западных ветров и увеличения количества осадков, стока рек. Незначительное понижение в октябре, более заметное в Балтийске и Клайпеде, может быть связано с уменьшением речного стока.

Сезонные колебания в среднем за период составили 20 см в южной части побережья (Гданьский залив), 29 и 31 см – в Куршском и Финском заливах, соответственно. Такой характер сезонного хода уровня на восточном побережье Балтики очень устойчив во времени, несмотря на положительные тенденции роста уровня, усилившиеся в последние десятилетия [12].



а)



б)

Рис. 3. Сезонные колебания среднего уровня моря (см БС) по наблюдениям за 1977-2006 гг. в Балтийском море (а) и Азово-Черноморском бассейне (б)

В Азово-Черноморском бассейне основная роль в формировании приходной части водного баланса принадлежит стоку рек, а в расходной – испарению и оттоку вод через проливы (Керченский и Босфор). Существенную роль в приходной части водного баланса играют также интенсивные атмосферные осадки, заметно увеличившиеся в осенне-зимний период во второй половине 20-го столетия. Наибольшие значения уровня Черного и Азовского моря (рис.

3 б) наблюдаются в весенне-летний период, когда отмечается максимум водного баланса. Интенсивный подъем уровня, наблюдающийся с апреля по июнь, определяется интенсификацией поступления речных вод. Среднегодовое значение водного баланса приходится на май, а уровня на май-июнь. В Одессе, расположенной непосредственно в зоне поступления речных вод, максимум уровня наступает раньше, чем в Севастополе, Керчи и тем более Бердянска. В конце осени – начале зимы, вследствие уменьшения речного стока, уровень воды понижается, и среднегодовое значение по наблюдениям за 1977-2006 годы приходится на октябрь. В период с ноября по январь значительный рост уровня связан с периодом роста атмосферных осадков. Период подъема уровня моря в целом за год в Азово-Черноморском бассейне продолжительнее его спада. Размах сезонного хода уровня в рассмотренный нами период составляет по Одессе 17 см, Севастополю – 15 см, Керчи – 18 см, Бердянску – 23 см, а приводимый в [7] средний размах по Черному морю – 18 см. В отдельные годы при аномальном соотношении компонентов водного баланса такой порядок нарушается – во внутригодовой его изменчивости можно выявить появление еще двух экстремумов, довольно частое в зимний период года (в 75-90% случаев) и относительно редкое летом (в 18% случаев) [2].

Статистические оценки изменчивости уровня в Балтийском и Азово-Черноморском бассейнах. Однонаправленная тенденция временных изменений средних годовых уровней в Балтийском и Черном морях за более чем вековой период сопровождается явными несовпадениями по знаку и времени наступления локальных экстремумов (рис. 1, 2). Для рассмотрения этих особенностей проведен анализ степени и характера взаимозависимости между рядами средних уровней всех пунктов за весь период наблюдений, а также внутригодовых колебаний.

Поскольку предполагается, что фактические временные ряды среднегодовых величин уровня моря являются суперпозицией разнопериодных составляющих, сравнение долгопериодной части этих составляющих можно произвести, применяя к исходным рядам соответственно 5-летнее и 11-летнее скользящее осреднение. Использование таких фильтров практически сохраняет в отфильтрованных рядах все экстремумы и большую часть энергетики процесса [4], но не нивелирует влияние временного тренда. Для полного исключения тренда ко всем исходным рядам среднего годового уровня было применено вычитание ранее определенного линейного тренда из каждого значения ряда, а затем сглаживание скользящим средним, причем использовались как 5-ти, так и 11-ти летние скользящие средние (табл. 2).

Коэффициенты корреляции, полученные после исключения тренда и представленные в табл. 2, показывают, что колебания годового уровня в пределах каждого моря хорошо коррелированы (Керчь при этом хорошо коррелируется с Бердянском, отражая природу Азовского моря): Балтийск-Клайпеда-Кронштадт (0,85-0,94), Одесса-Севастополь (0,92), Керчь-Бердянск (0,84), все

Таблица 2

Коэффициенты корреляции для рядов среднегодового уровня моря с исключенным трендом (вариант 1), для рядов разности между среднегодовым уровнем и уровнем, сглаженным скользящим средним 5-летним (вариант 2) и 11-летним (вариант 3) Балтийского, Черного и Азовского морей за период 1875-2006 гг.

Пункты		1	2	3	4	5	6	7
Вариант 1								
1	Кронштадт	1,00	0,82	0,91	0,02	-0,04	-0,30	
2	Клайпеда		1,00	0,92	0,37	0,39	0,27	0,56
3	Балтийск			1,00	0,06	0,01	-0,21	0,52
4	Одесса				1,00	0,90	-0,25	0,43
5	Севастополь					1,00	-0,19	0,57
6	Керчь						1,00	0,77
7	Бердянск							1,00
Вариант 2								
1	Кронштадт	1,00	0,87	0,91	0,02	-0,04	-0,30	-0,03
2	Клайпеда		1,00	0,92	0,03	0,03	-0,08	0,20
3	Балтийск			1,00	0,06	0,01	-0,21	0,07
4	Одесса				1,00	0,90	-0,25	-0,30
5	Севастополь					1,00	-0,19	-0,26
6	Керчь						1,00	0,84
7	Бердянск							1,00
Вариант 3								
1	Кронштадт	1,00	0,85	0,90	-0,01	-0,04	-0,16	0,00
2	Клайпеда		1,00	0,94	0,08	0,09	0,17	0,37
3	Балтийск			1,00	0,07	0,03	-0,07	0,07
4	Одесса				1,00	0,92	-0,08	0,04
5	Севастополь					1,00	0,05	0,15
6	Керчь						1,00	0,82
7	Бердянск							1,00

они значимы по коэффициенту Стьюдента при обеспеченности более 99.0%. Отрицательные значения коэффициента корреляции между рядами среднегодового уровня моря с исключенным трендом в Керчи и пунктами Черного моря могут характеризовать особые природные условия в Керченском проливе. Связь между колебаниями годового уровня в Балтийском и Черном, Черном и Азовском морях является слабой обратнопропорциональной и характеризуется отрицательными коэффициентами корреляции с величинами от -0,00 до -0,30, статистически значимыми (по критерию Стьюдента) (табл. 2).

Наличие обратной временной связи между колебаниями уровня в пунктах рассматриваемых бассейнов (Балтийского, Черного и Азовского морей) может быть следствием влияния результирующих воздействий разных внешних сил. Это наиболее наглядно проявляется в сезонном ходе уровня внутренних морей Атлантического океана (рис. 3).

Коэффициенты корреляции, рассчитанные для определения связи сезонного хода уровня моря за 1977-2006 годы по тем же пунктам наблюдений Балтийского, Черного и Азовского морей представлены в табл. 3.

Таблица 3

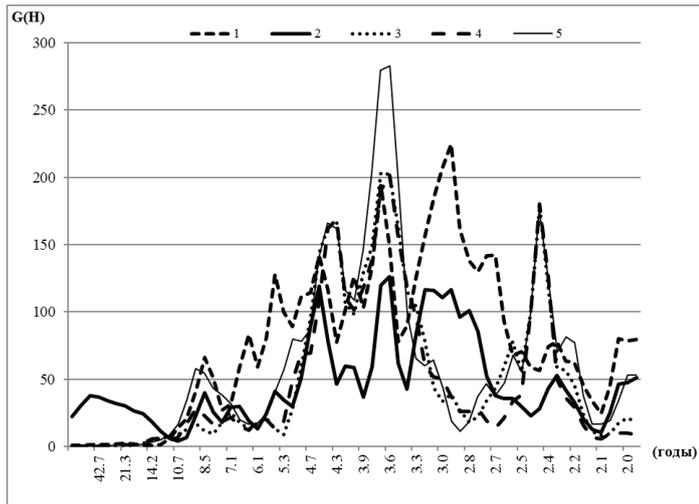
Коэффициенты корреляции для рядов среднемесячного уровня моря Балтийского, Черного и Азовского морей за 1977-2006 гг.

Пункты		1	2	3	4	5	6	7
1	Кронштадт	1,00	0,91	0,95	-0,86	-0,75	-0,77	-0,80
2	Клайпеда		1,00	0,93	-0,87	-0,74	-0,79	-0,80
3	Балтийск			1,00	-0,81	-0,64	-0,67	-0,70
4	Одесса				1,00	0,95	0,97	0,98
5	Севастополь					1,00	0,99	0,98
6	Керчь						1,00	0,99
7	Бердянск							1,00

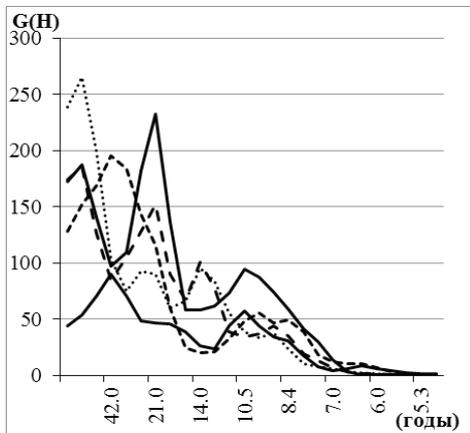
Эти наиболее высокие значения коэффициентов корреляции (как положительные, так и отрицательные) получены для осредненного по каждому месяцу сезонному ходу (табл. 3). Тем не менее, проведенные расчеты коэффициентов корреляции для каждого месяца отдельно и по всем значениям подтвердили установленную обратнопропорциональную зависимость между Балтийским морем и Азово-Черноморским бассейном и тесную связь по станциям каждого региона.

Одновременное влияние процессов взаимодействия «океан-атмосфера» и внешних геокосмических сил создают в исследуемых морях, также, как и в Атлантическом океане, разномасштабную пространственно-временную измен-

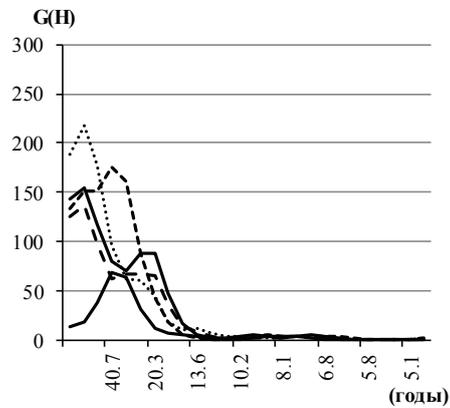
чивость колебаний уровня. Поскольку фактические ряды среднегодовых колебаний состоят из целого набора различных гармоник, то определение закономерностей изменчивости уровня моря проводилось из выделенных длинно и короткопериодных рядов, а не по среднегодовым данным (рис. 4, табл. 4).



а)



б)



в)

Рис. 4. Спектральная плотность уровня моря в пунктах Балтийского моря (1 – Кронштадт, 2 – Балтийск) и Черного моря (3 – Одесса, 4 – Севастополь, 5 – Керчь): а) отклонений среднегодовых от сглаженных 5-летним осреднением значений; б) сглаженных 5-летним осреднением среднегодовых значений; в) сглаженных 11-летним осреднением среднегодовых значений

Таблица 4

**Периоды колебаний среднего годового уровня
(с исключенным временным трендом) в пунктах Балтийского
и Черного морей по наблюдениям за 1875-2006 гг.**

Море	Пункт	Период, годы						
Балтийское	Балтийск	12,5	-	5,2	3,3	2,5	2,0	1,7
	Кронштадт	-	8,3	5,2	3,2	2,6	2,0	1,7
Черное	Одесса	12,5	-	4,6	3,3	2,5	2,0	1,7
	Севастополь	-	-	4,8	3,6	2,5	-	1,7

По спектральной плотности [4] сглаженных скользящим осреднением 5 лет рядам в Балтийском, Черном и Азовском морях выделяются 10 летние колебания (рис. 4а). Более долгопериодные колебания, установленные по сглаженным скользящим осреднением 5 и 11 лет среднегодовым значениям (рис. 4 б, в), показали присутствие 20-летних волн в Черном море и 30-летних в Балтийском. Наиболее энергетически значимыми как в Черном с Азовским, так и в Балтийском морях, являются колебания, близкие к 3,6 года, затем 4,3 (Одесса, Севастополь, Керчь) и 4,5 года (Балтийск, Кронштадт); отдельно выделяются Кронштадт – 2,9, Балтийск – 2,9-3,2, Одесса, Севастополь, Керчь – 2,4 года.

Ранее отмечалось [13], что в Черном море во второй половине 20-го века наблюдался процесс интенсификации наиболее низкочастотных колебаний уровня, отражающих глобальные и локальные климатические изменения.

ВЫВОДЫ

В результате проведенных исследований получены количественные характеристики закономерностей изменчивости более чем векового хода (1875-2006 гг.) средних многолетних уровней у восточного побережья Балтийского моря и северного побережья Черного и Азовского морей (общей чертой которых является наличие прибрежных заливов, лагун и лиманов на этих берегах), которые позволяют сделать следующие обобщения:

– выявлена согласованная положительная динамика и наличие общих тенденций роста уровня в целом (0,08, 0,13 и 0,18 см год⁻¹ – Кронштадт, Клайпеда и Балтийск; 0,07, 0,09, 0,12 и 0,29 см год⁻¹ – соответственно Керчь, Одесса, Севастополь и Бердянск), что вполне сочетается с ростом уровня Мирового океана за такой же период;

– наблюдаются сравнимые показатели роста уровня и за отдельные интервалы, как, например, отрицательный тренд хода уровня с 1901 по 1930 гг. (-1,3, -2,2, -2,4, -0,6 мм год⁻¹ соответственно Севастополь – Одесса – Керчь, Кронштадт, снижение роста в Балтийске до 1,8 мм год⁻¹); или значительный

рост уровня в 1991-2006 гг., составивший 8,6, 8,7 и 13,3 мм год⁻¹ в Балтийске – Севастополе – Керчи и одновременное снижение роста в Кронштадте до 1.1 мм год⁻¹ и падение его в Одессе до -2,5 мм год⁻¹ вследствие вероятных тектонических подъемов дна на отдельных участках как Балтийского, так и Черного морей;

– в распределении сезонного хода в сравниваемых внутренних морях Атлантического океана (Балтийского и Азово-Черноморского бассейнов) отмечается противофазный характер для этих регионов;

– размах сезонных колебаний Балтийского моря (от 20 см в южной части побережья до 29 и 31 см – в Куршском и Финском заливах) несколько превосходил аналогичные колебания Азово-Черноморского бассейна (по Одессе 17 см, Севастополю – 15 см, Керчи – 18 см, Бердянску – 23 см);

– долгопериодные колебания среднего годового уровня в пределах каждого моря хорошо коррелированы: для рядов с исключенным временным трендом коэффициент корреляции Балтийск-Клайпеда-Кронштадт – 0,85-0,94, Одесса-Севастополь – 0,92, Керчь-Бердянск – 0,84; примененное для удаления временного тренда сглаживание рядов скользящим средним (как 5-ти, так и 11-летним) показало еще более тесную корреляцию, особенно при 5-летнем сглаживании;

– связь между колебаниями годового уровня на лагунных побережьях Балтийского и Черного морей является слабой обратнопропорциональной и характеризуется отрицательными коэффициентами корреляции от -0,00 до -0,30, статистически значимыми (по критерию Стьюдента);

– коэффициенты корреляции сезонного хода подтвердили установленную обратнопропорциональную зависимость между Балтийским морем и Азово-Черноморским бассейном и тесную связь по станциям каждого региона;

– масштабы временных колебаний уровня в Балтийском и Черном морях, как показал спектральный анализ исходных рядов с удаленным временным трендом, очень близки: встречаются как квазидвухлетние, так и 3-5, 8, 12,5-летние, определяемые процессами взаимодействия в системе «океан-атмосфера», а также влиянием геокосмических сил.

Близкое совпадение величин линейного тренда и амплитуды размаха многолетних колебаний среднегодовых значений уровня моря в районах лагунных берегов Балтийского, Черного и Азовского морей, позволяет сделать вывод о схожих условиях, в которых в последние 100 лет происходило развитие береговой зоны и прибрежных заливов в этих двух удаленных зонах водосборного бассейна Атлантического океана.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андрианова О. Р. Закономерности изменчивости уровня на побережье Черного и Азовского морей за последние 100 лет [Текст] / О. Р. Андрианова // Материалы XXIV Международной береговой конференции «Морские берега – Эволюция, Экология, Экономика». – Туапсе, 1–6 октября 2012 г. – Т. 1. – С. 37–41.

2. Андрианова О. Р. Сезонные колебания уровня Черного моря и некоторые особенности его изменчивости [Текст] / [Андрианова О. Р., Белевич Р. Р., Бузов А. М., Скипа М. И.] // Экологические проблемы Черного моря: материалы международной научно-практической конференции. – Одесса. – 2007. – С.15-19.
3. Атлантический океан. География Мирового океана. – Ленинград: Наука, 1984. – 500 с.
4. Бендат Дж. Измерение и анализ случайных процессов [Текст] / Дж. Бендат, А. Пирсол. – Москва: Мир, 1974. – 464 с.
5. Благоволин Н. С. Современные вертикальные движения берегов Черного и Азовского морей / Благоволин Н. С., Победоносцев С. В. // Геоморфология. – 1973. – № 3. – С. 46–55.
6. Волкова Г. П. Некоторые особенности колебаний уровня в Азовском, Черном и Балтийском морях [Текст] / Г. П. Волкова, А. Н. Овсянников // Труды ГОИН. – 1978. – Вып. 137. – С. 43-45.
7. Гидрометеорологические условия морей Украины [Текст] / [Ильин Ю. П., Репетин Л. Н., Белокопытов В. Н. и др.]. – МЧС и НАН Украины, Морское отделение УкрНИГМИ. – Севастополь, 2012. – Том 2. – Черное море. – 2012. – 421 с.
8. Каплин П. А. Изменения уровня морей России и развитие берегов: прошлое, настоящее, будущее [Текст] / П. А. Каплин, А. Ю. Селиванов – М.: ГЕОС, 1999. – 299 с.
9. Каталог наблюдений над уровнем Черного и Азовского морей. Государственный комитет СССР по гидрометеорологии. ГОИН, Севастопольское отделение. – Севастополь, 1990. – 269 с.
10. Климат морей России и ключевых районов Мирового океана. Балтийское море [Электронный ресурс]: атлас. – Обнинск. – 2007. Режим доступа http://data.oceaninfo.ru/atlas/Balt/5_1.html
11. Малинин В.Н. Уровень океана: настоящее и будущее [Текст] / Малинин В.Н. – СПб: РГТМУ, 2012. – 260 с.
12. Навроцкая С. Е. Тенденции изменения уровня моря в лагунах Юго-восточной Балтики [Текст] / С. Е. Навроцкая, Б. В. Чубаренко // Океанология. – 2013. – Т.53. – № 1. – С. 17-28.
13. Рева Ю. А. Межгодовые колебания уровня Черного моря [Текст] / Ю. А. Рева // Океанология. – 1997. – Т.37 – № 2. – С. 211-219.
14. Permanent Service for Mean Sea Level: <http://www.psmsl.org/> [Электронный ресурс] [Accessed 25 September 2017]
15. Vestol O. Determination of postglacial land uplift in Fennoscandia from leveling, tide-gauges and continuous GPS stations using least squares collocation [Текст] / O. // J. of Geodesy. – 2006. – V. 80. – N 5. – P. 248-258.

REFERENCES

1. Andrianova, O. R. (2012), Zakonomernosti izmenchivosti urovnya na poberezh'ye Chernogo i Azovskogo morey za posledniye 100 let [Regularities of level variability on the coast of the Black and Azov Seas in the last 100 years], *Proceedings of the XXIV International Coastal Conference «Sea Shores – Evolution, Ecology, Economics»*, Tuapse, 1–6 October 2012, vol. 1, pp. 37-41.
2. Andrianova, O. R., Belevich, R. R., Burov, A. M., Skipa, M. I. (2007), Sezonnnyye kolebaniya urovnya Chernogo morya i nekotoryye osobennosti yego izmenchivosti [Seasonal fluctuations in the level of the Black Sea and some features of its variability], *Ecological problems of the Black Sea: practical conference*, Odessa, pp.15-19.
3. Атлантический океан. География Мирового океана (1984), [Atlantic Ocean. Geography of the World Ocean], Leningrad: Science, 500 p.
4. Bendat, J., Pirsol, A. (1974), *Izmereniye i analiz sluchaynykh protsessov*, [Measurement and analysis of random processes], Moscow: The World, 464 p.
5. Blagovolin, N.S., Pobedonostev, S.V. (1973), Sovremennyye vertikal'nyye dvizheniya beregov Chernogo i Azovskogo morey. [Modern vertical movements of the shores of the Black and Azov Seas], *Geomorphology*, N 3, pp. 46-55.
6. Volkova, G. P., Ovsyannikov, A. N. (1978), Nekotoryye osobennosti kolebaniy urovnya v Azovskom, Chernom i Baltiyskom moryakh. [Some features of level fluctuations in the Azov, Black and Baltic Seas], *Proceedings of the GOIN*, vol. 137, pp. 43-45.
7. Ilyin, Yu. P., Repetin, L. N., Belokopytov, V. N., Goryachkin, Yu., N., Dyakov, N. N., Cubryakov, A. A., Stanichnyi, S. V. (2012), Gidrometeorologicheskiye usloviya morey Ukrainy. [Hydrometeorological conditions of the seas of Ukraine], *Ministry of Emergency Situations and NAS of Ukraine, Marine Department of UkrNIIGMI*, Sevastopol, vol. 2, 421 p.
8. Kaplin, P. A., Selivanov, A. U. (1999), *Izmeneniya urovnya morey Rossii i razvitiye beregov: proshloye, nastoyashcheye, budushcheye*. [Changes in the sea level of Russia and development of the coast: past, present, future], Moscow: GEOS, 299 p.

9. Katalog nablyudenyi nad urovnem Chernogo i Azovskogo morey (1990). [Catalog of observations on the level of the Black and Azov Seas], *State Committee of the USSR on Hydrometeorology*, GOIN, Sevastopol branch. Sevastopol, 269 p.
10. Klimat morey Rossii i klyuchevykh rayonov Mirovogo okeana. Baltiyskoye more (2007) [Elektronnyy resurs]: atlas, [Climate of the seas of Russia and key regions of the World Ocean. Baltic Sea] [Electronic resource], Obninsk. Mode of access http://data.oceaninfo.ru/atlas/Balt/5_1.html
11. Malinin, V. N. (2012), *Uroven' okeana: nastoyashcheye i budushcheye*. [Ocean level: present and future], St.-Petersburg: RSHU, 260 p.
12. Navrotskaya, S. E., Chubarenko, B. V. (2013), Tendentsii izmeneniya urovnya morya v lagunakh Yugo-vostochnoy Baltiki. [Trends in sea level changes in the lagoons of the South-Eastern Baltic], *Oceanology*, vol. 53, N 1, pp. 17-28.
13. Reva, Yu. A. (1997), Mezhdogovyye kolebaniya urovnya Chernogo moray. [Interannual fluctuations in the Black Sea level], *Oceanology*. vol.37, No. 2, pp. 211-219.
14. Permanent Service for Mean Sea Level (2017): <http://www.psmsl.org/> [Electronic resource] [Accessed 25 September 2017].
15. Vestol, O. (2006), Determination of postglacial land uplift in Fennoscandia from leveling, tide-gauges and continuous GPS stations using least squares collocation, *Journal of Geodesy*, vol. 80, N 5, pp. 248-258.

Поступила 04. 10. 2017

В. М. Єрмеєв¹, академік НАН України, докт. фіз.-мат. наук, професор

О. Р. Андріанова², докт. геогр. наук, пров. н. с.

М. І. Скіпа², канд. техн. наук, пров. н. с.

¹ Державна наукова установа «Відділення морської геології та осадового рудоутворення Національної академії наук України», вул. О. Гончара, 55б, Київ, 01054, Україна;

² Державна установа «Відділення гідроакустики Інституту Геофізики ім. С. І. Субботіна Національної академії наук України», вул. Преображенська, 3, Одеса, 65082, Україна
olga_andr@mail.ru

ОСОБЛИВОСТІ КОЛИВАНЬ РІВНЯ ВНУТРІШНІХ МОРЕЙ АТЛАНТИЧНОГО ОКЕАНУ

Резюме

За аналізом динаміки середньорічного рівня моря (1875-2006 рр.) у східного узбережжя Балтійського та північного узбережжя Азово-Чорноморського басейнів встановлено значення трендів за весь період. Оцінено кореляційну залежність довготривалих коливань рівня в межах кожного моря та зв'язок між морями. Аналогічно виділено особливості сезонного ходу в порівнюваних морях та оцінено їх зв'язок. Визначено найбільш значущі періоди коливань рівня морів.

Ключові слова: рівень моря, Азовське море, Чорне море, Балтійське море, багаторічний характер мінливості, тенденції, сезонні особливості, коефіцієнт кореляції.

V. M. Yermeyev¹

O. R. Andrianova²

M. I. Skipa²

¹ Department of Marine Geology and Sedimentary Ore-Formation
of National Academy of Science of Ukraine,
Honchar St., 55 b, Kiev, 01054, Ukraine;

² SI «Hydroacoustic Branch of Institute of Geophysics of National Academy
of Science of Ukraine»,
Preobragenskaya St., 3, Odesa, 65082, Ukraine
olga_andr@mail.ru

FEATURES OF SEA LEVEL OSCILLATIONS IN INLAND BASINS OF THE ATLANTIC OCEAN

Abstract

Problem Statement and Purpose. The determination of the impact of planetary regularities not only to the entire dynamic system of the World Ocean but also on its separate regions stimulates the development of mechanisms for rational nature management in the coastal zone for various space-time scales. The aim of the work is to compare the long-term characteristics and trends of sea level variability in the inner basins of the Atlantic Ocean, to establish their seasonal features.

Data & Methods. Level measurements at gauging stations of the Baltic, Black and Azov Seas which are given in the public sources were used for this research. Most of these stations have the data series in the Baltic reference system for the same time period: from 1875 to 2006 for the mean annual level and from 1977 to 2006 for the average monthly values. The correlation analysis was used to determine statistical connections, the spectral analysis was used for finding the dominant oscillations.

Results. The positive trends (from 0,7 to 2,9 mm year⁻¹) in the dynamics of the average annual sea level (1875-2006) at the eastern coast of the Baltic and the northern coast of the Azov-Black Sea basin were established for the whole period. Long-period fluctuations of the level within each sea are well correlated (0,84-0,94) and there is practically no connection between the basins. The seasonal variation in the seas being compared has an anti-phase character (correlation coefficient from -0,64 to -0,87). Sea-level fluctuations have the value from one to tens of years, with the most significant quasi-two-year and 3-5-year periods.

Keywords: Sea level, Azov Sea, Black Sea, Baltic Sea, Long-term variability, Trends, Seasonal features, Correlation coefficient.