

УДК [551.583:551.46.0] (261.243)

© Т.Р.Еремина¹, Д.М.Густоев¹, В.Ю.Цепелев², 2013

¹Российский государственный гидрометеорологический университет, г. Санкт-Петербург

²Северо-западное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, г. Санкт-Петербург
tanya.er@gmail.com

ИССЛЕДОВАНИЕ ДОЛГОПЕРИОДНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ФИНСКОГО ЗАЛИВА В 1958–2009 гг.

В работе сделана попытка исследования многолетней изменчивости среднего уровня моря и ряда гидрометеорологических характеристик в восточной части Финского залива Балтийского моря. В качестве исходных данных были использованы временные серии наблюдений за период с 1958 по 2009 г., проведенные на морских гидрометеорологических станциях. Результаты анализа наблюдений показали, что температура воздуха в зимний период увеличилась на 2.8°C, в то время как летняя температура возросла на 1.2°C. Температура поверхности воды за последние 20 лет повысилась на 1.6°C, а продолжительность покрытия льдом в восточной части Финского залива уменьшилась на 15 сут. При этом рост уровня моря за 50 лет составил 5 мм. Наибольшие аномалии параметров были зафиксированы в период 1991–2005 гг.

Ключевые слова: изменение климата, гидрометеорологические характеристики, ряды наблюдений, Финский залив.

В последнее двадцатилетие во многих регионах Земли наблюдается существенный рост средней температуры воздуха, происходящий на фоне глобального изменения климата. Анализ длительных рядов наблюдений гидрометеорологических параметров Балтийского моря свидетельствует о заметных изменениях, проявившихся в таких гидрометеорологических характеристиках, как уровень моря, температура воды, атмосферное давление, осадки, сток рек и ледяной покров. Рост средней температуры воздуха в регионе, наблюдавшийся в XX в., уже превысил 0.7°C [1]. Это значение соответствует оценке IPCC, сделанной для глобального линейного тренда температуры за период с 1906 по 2005 г. [2]. Анализ исторических рядов наблюдений показывает, что XX век оказался самым теплым за последние 500 лет [3].

Начиная с 1960-х годов, в климате Балтийского региона произошел значительный сдвиг. В связи с интенсификацией западного переноса в регионе повысилась зимняя температура воздуха, увеличилось количество осадков [1]. Адвекция сравнительно теплых и влажных воздушных масс привела к мягким зимам и соответственно к сокращению ледового сезона [4, 5].

Исследования показали, что в настоящее время температура воды на поверхности Балтийского моря на 1°C выше, чем температура, которая наблюдалась 140 лет назад [6]. При этом рост поверхностной температуры европейских морей опережал рост температуры в Мировом океане в целом. Например, в Северном море за период 1982–2006 гг. рост температуры составил 0.05°C/год, а в Балтийском море за период 1982–2006 гг. – 0.06°C/год, что в 5–6 раз быстрее роста средней температуры поверхности Мирового океана (0.01°C/год).

Одним из основных индикаторов изменения климата является уровень моря [2]. Анализ исторических рядов наблюдений более чем за 100-летний период показал, что средний уровень Балтийского моря по осредненным оценкам вырос на 0.17 м

(0.12–0.22 м). Подъем среднего уровня моря за период с 1961 по 2003 г. составлял 1.8 мм/год (1.3–2.3 мм/год) [2]. Важно отметить, что наблюдаемый подъем уровня был обнаружен на многих уровненных измерительных станциях Балтийского моря [7–9].

Основными факторами, влияющими на многолетнюю изменчивость среднего уровня Балтийского моря, являются эвстатический рост уровня, обусловленный глобальными изменениями климата, подъем земной поверхности и водный баланс [10].

По существующим оценкам [11, 12], эвстатический подъем среднего уровня моря в течение XX столетия оценивался величиной 1.49 ± 0.53 мм/год, при этом изменчивость уровня Балтийского моря во временном масштабе более чем один месяц в наибольшей степени может быть объяснена изменчивостью уровня в Каттегате. Однако при этом долговременные изменения уровня моря в Каттегате и Северном море могут заметно отличаться от глобального роста среднего уровня [13].

Подъем земной поверхности в Балтийском регионе происходил в течение всего голоцена [14]. В южной части моря величина подъема, по разным оценкам [9], составляла 0–1 мм/год. По данным многолетних наблюдений, максимальный подъем – 9 мм/год – относительно среднего уровня моря был зафиксирован на севере Ботнического залива [14].

В южных районах моря водный баланс Балтийского моря имеет тесную связь с атмосферными процессами в Северной Атлантике, основную направленность которых для Северной Европы обычно выражают через зимний индекс Северо-Атлантического колебания (NAO от английского North Atlantic Oscillation). Многие исследователи показали, что изменчивость уровня Балтийского моря с временными масштабами более одного года имеет хорошо выраженную корреляционную связь с индексом NAO [13, 15]. Так, например, наиболее значительные изменения гидрометеорологических параметров отмечались в южных прибрежных районах Балтики, когда зимний индекс NAO находился в основном в положительной фазе с 1988 по 1995 г. [16].

Ввиду значительной зональной протяженности моря долговременные изменения среднего уровня моря в условиях потепления климата в различных районах Балтийского моря могут существенно отличаться. В настоящее время на основе анализа данных многолетних наблюдений, а также с использованием климатических региональных моделей выполнено значительное количество исследований, посвященных изменению среднего уровня моря в условиях регионального потепления климата в различных частях Балтийского моря. Основные результаты этих исследований обобщены в работе [14]. Однако особенностям проявления эффекта потепления климата в восточной части Финского залива уделено значительно меньше внимания, за исключением исследований катастрофических наводнений в Санкт-Петербурге и прогноза возможного затопления территорий [17]. Лишь в работе [18] выполнен достаточно детальный анализ влияния изменения климата на межгодовую изменчивость уровня в Кронштадте: на основе регрессионной модели получены оценки роста уровня моря при различных климатических сценариях к концу XXI в. и вклада эвстатических факторов.

Следует отметить, что анализ данных многолетних наблюдений показал, что наибольшие изменения среднего уровня в сезонном цикле отмечаются в северной оконечности Ботнического залива и восточной части Финского залива [13]. На основе сценарных расчетов, выполненных для Балтийского моря с использованием океанской модели Россби Центра (RCO) [13], авторы сделали вывод, что наибольшее увеличение среднего уровня в результате эвстатического роста его в будущем климате ожидается в Гданьске и Санкт-Петербурге.

В настоящей работе предпринята попытка исследования многолетней изменчивости среднего уровня моря и ряда гидрометеорологических характеристик в восточной части Финского залива и выявления взаимосвязей между ними, а также сравнения с результатами исследований, полученными для других прибрежных районов Балтийского моря.



Рис.1. Сеть береговых станций и постов в Невской губе и восточной части Финского залива.

Исходные данные и методы статистической обработки. Восточная часть Финского залива достаточно хорошо обеспечена длительными рядами инструментальных наблюдений. Район исследований и расположение гидрометеорологических станций представлены на рис.1.

В качестве исходных данных нами были использованы временные серии среднемесячных наблюдений за период с 1958 по 2009 г. на гидрометеорологических морских станциях восточной части Финского залива – Выборге, Ломоносове, Санкт-Петербурге – и данные зимних значений индекса Северо-Атлантического колебания, определяемых как разность давления (в мБар) на станциях Азорские острова–Исландия [19]. Данные о ледовых условиях в Восточной части Финского залива были проанализированы за период с 1958 по 2006 г., а по температуре поверхности воды – за последние 30 лет.

Уровень моря на береговых станциях Ломоносов, Выборг и Кронштадт наблюдается по самописцам. Данные представлены над «нулем» постов, что составляет –5.00 м в Балтийской системе. Среднемесячные данные по уровню моря были получены путем осреднения срочных ежечасных наблюдений. Выборки имеют среднемесячную дискретность и представлены в табл.1.

Таблица 1

Параметры среднемесячных данных

№	Параметр	Временной диапазон
1	Уровень моря в п.Ломоносов, мм	1958–2009
2	Уровень моря в п.Выборг, мм	1958–2009
3	Расход р.Невы, тыс.м ³	1958–2009
4	Атмосферное давление в п.Ломоносов, мБар	1958–2009
5	Атмосферное давление в п.Выборг, мБар	1958–2009
6	Продолжительность сохранения ледового покрова в Финском заливе, сут	1958–2006
7	Зимняя температура воздуха, °С	1958–2010
8	Летняя температура воздуха, °С	1958–2010
9	Индекс NAO, мБар	1958–2009
10	Температура поверхности воды в п.Ломоносов, °С	1976–2008

Единичные пропуски во временных сериях заполнены путем интерполяции с использованием регрессии полиномов Чебышева. Расчет первичных моментов и линейных тенденций выполнялся согласно известным методам, используемым для статистических расчетов [20, 21].

Ввиду установленных значительных отличий в тенденциях изменчивости исследуемых характеристик в летний и зимний периоды расчеты проведены раздельно. Результаты первичного статистического анализа гидрометеорологических характеристик даны в табл.2. Летние и зимние значения характеристик рассчитаны за май–август и декабрь–март соответственно.

Таблица 2

Первичная статистика исходных временных серий

Характеристика	Среднее	Мин.	Макс.	Амплитуда	σ	Асимметрия	Экцесс
Индекс NAO в зимний период, мБар	0.36	-2.14	2.12	4.26	0.92	-0.28	0.17
Срок покрытия льдом Финского залива, сут	146.50	112.50	174.50	62.00	14.42	-0.34	-0.08
Расход р.Невы в летний период, тыс.м ³	28.80	18.93	40.93	22.00	4.27	0.05	0.47
Температура воздуха над акваторией Финского залива, °С:							
зимний период	-3.77	-8.10	0.16	8.25	1.86	-0.15	0.01
летний период	15.48	13.10	17.65	4.55	1.02	-0.16	-0.23
Уровень моря на акватории Финского залива, мм:							
летний период	504.33	485.12	524.36	39.24	7.64	-0.05	0.47
зимний период	509.49	484.83	535.93	51.10	10.71	0.15	-0.29
Атмосферное давление над акваторией Финского залива, мБар:							
зимний период	1011.88	1006.92	1019.53	12.61	2.76	0.51	-0.04
летний период	1011.95	1009.25	1014.82	5.57	1.37	0.15	-0.52
Температура поверхности воды по п.Ломоносов, °С	7.18	5.77	8.88	3.11	0.90	3.03	21.21

Анализ результатов. Оценка статистических параметров долговременных изменений гидрометеорологических характеристик была выполнена для 50-летнего периода. Полученные боксовые построения наглядно иллюстрируют изменчивость гидрометеорологических характеристик (рис.2). Из построений видно, что с конца 60-х годов прошлого столетия в течение трех десятилетий наблюдался рост значений зимнего индекса NAO и лишь в последнее десятилетие наметилась тенденция к его уменьшению (рис.2, ж). Атмосферное давление в зимние месяцы отличается существенной межгодовой изменчивостью, при этом последнее десятилетие XXI столетия характеризуется тенденцией повышения атмосферного давления. В летний период в течение трех десятилетий (1958–1987 гг.) наблюдалась устойчивая отрицательная тенденция, которая затем сменилась некоторым ростом атмосферного давления, а в последнее десятилетие давление изменялось слабо (рис.2, з). В течение всего анализируемого периода наблюдается устойчивый рост температуры воздуха, при этом наибольшая положительная тенденция отмечается в зимние месяцы (рис.2, в, г). Продолжительность покрытия залива льдом (рис.2, б) имеет устойчивую отрицательную тенденцию в течение трех последних десятилетий (1978–2009 гг.). В изменении среднего стока р.Нева в летние месяцы (рис.2, е) в последнее десятилетие наметилась тенденция уменьшения, тогда как в предшествующее 30-летие (1968–1997 гг.) сток реки увеличивался. Средний уровень моря за 50-летний период начал расти с конца 60-х годов, при этом наиболее заметный рост отмечается с конца 80-х годов прошлого столетия (рис.2, д).

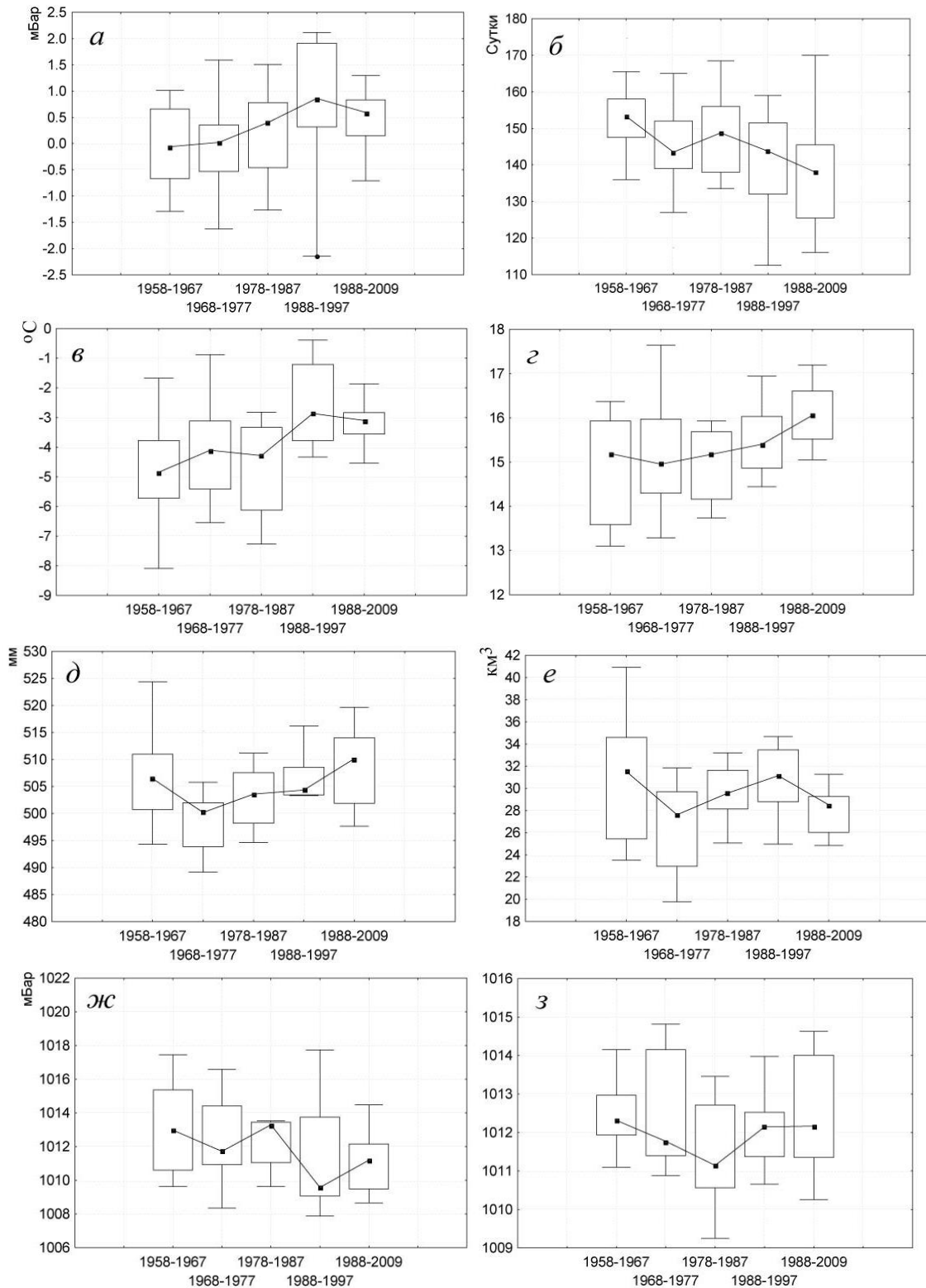


Рис.2. Распределение вероятностей гидрометеорологических характеристик за 1958–2009 гг.

a – индекс NAO; *б* – продолжительность покрытия льдом Финского залива; *в* – зимняя, *г* – летняя температура воздуха в регионе Финского залива, *д* – уровень моря на акватории Финского залива, *e* – летний сток р.Невы, *жс* – давление над акваторией Финского залива в зимние месяцы, *з* – в летние месяцы.

Для анализа временной изменчивости и выявления тенденций были построены графики межгодовых колебаний и тренды рассматриваемых гидрометеорологических харак-

теристик. Как видно из рис.3–6, на фоне практически неизменной дисперсии колебаний анализируемых параметров для отдельных характеристик наблюдаются довольно слабо выраженные тенденции. Интенсивный рост индекса NAO до середины 80-х годов сменился слабой тенденцией к понижению в зимние месяцы (рис.3, *a*). Слабо выражены повышающийся с начала 80-х годов тренд для временных рядов приземного давления в зимние и понижающийся в летние месяцы соответственно (рис.4), а также тенденция снижения среднегодовых величин стока р.Невы за 50-летний период наблюдений (рис.7, *a*). Вместе с тем температура воздуха (рис.5) и уровень (рис.6) в зимние месяцы в восточной части Финского залива имеют хорошо выраженную положительную тенденцию, а продолжительность ледового покрова – отрицательную (рис.3, *б*). С середины 80-х годов XX столетия отмечается резкое возрастание температуры поверхности моря (рис.7, *б*).

Согласно полученным результатам, температура воздуха в зимний период увеличилась на 2.8°C, в то время как летняя возросла на 1.2°C. Температура поверхности воды (рис.7, *б*), по данным п.Ломоносов, за последние 20 лет повысилась на 1.6°C. Продолжительность покрытия льдом в восточной части Финского залива за этот же период уменьшилась на 15 сут.

Несмотря на четко выраженную тенденцию увеличения уровня моря в зимний период, его рост составил незначительную величину – 1.9 см за 50 лет, а в летнее время рост уровня начался с середины 80-х годов и вырос на 0.8 см.

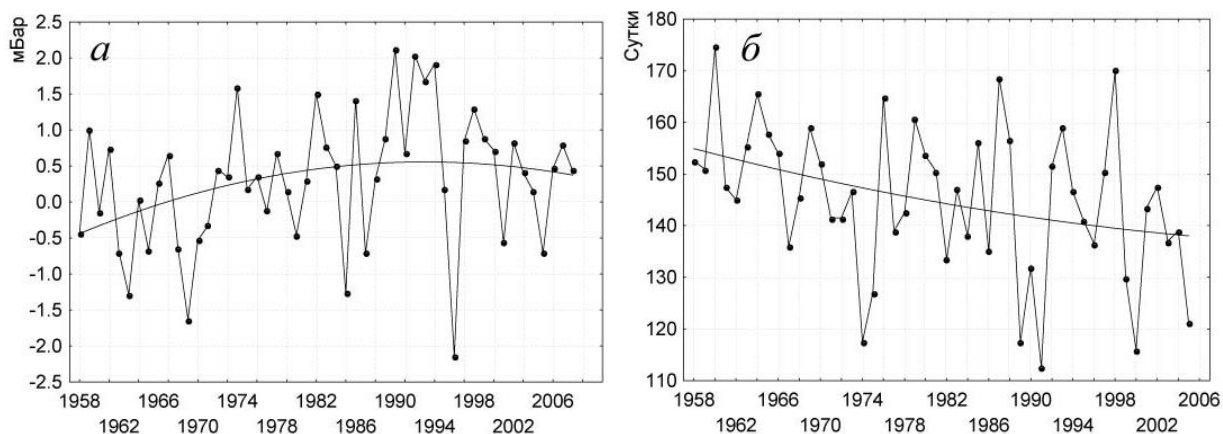


Рис.3. Межгодовое изменение зимних значений индекса NAO за 1958–2010 г. (*a*) и продолжительность стояния льда в Финском заливе за 1958–2006 г. (*б*).

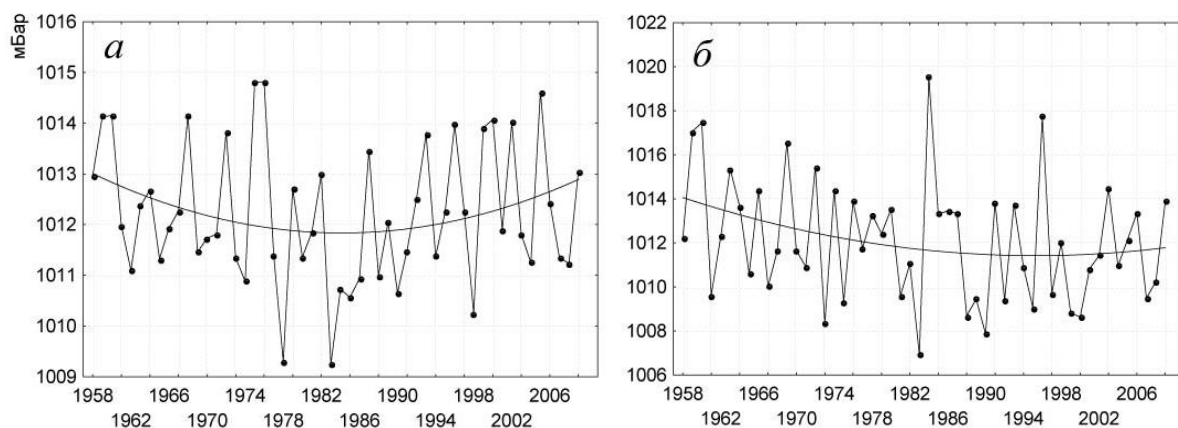


Рис.4. Межгодовое изменение давления над акваторией Финского залива в зимние (*a*) и летние (*б*) месяцы за 1958–2009 гг.

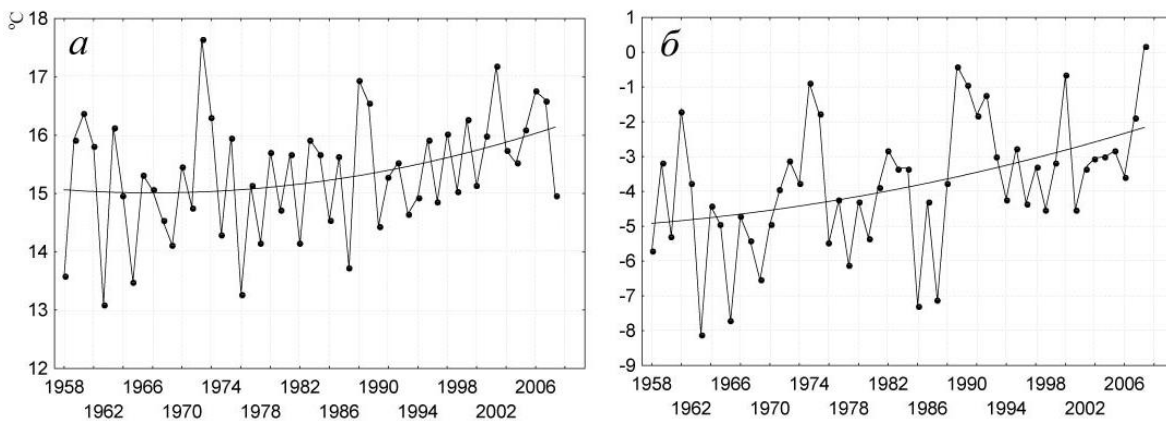


Рис.5. Межгодовое изменение летней (а) и зимней (б) температуры воздуха в восточной части Финского залива.

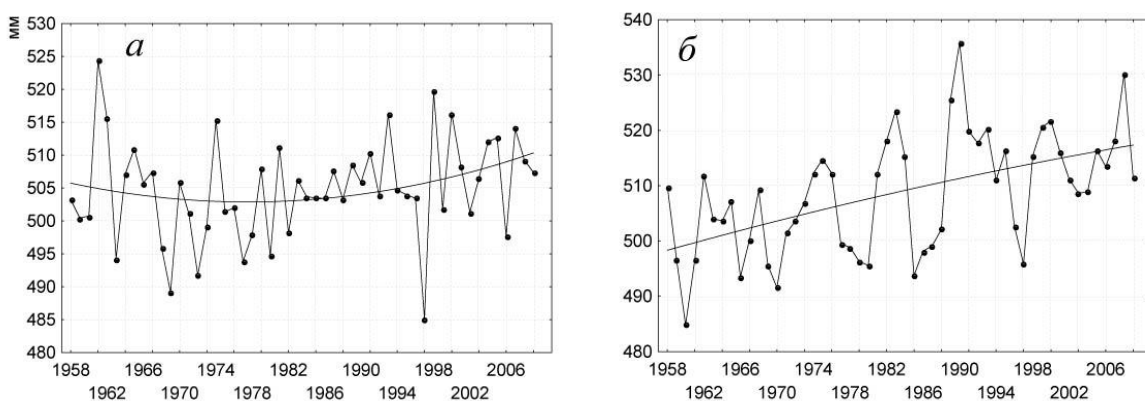


Рис.6. Межгодовое изменение уровня моря Финского залива в летние (а) и зимние (б) месяцы за 1958–2009 гг.

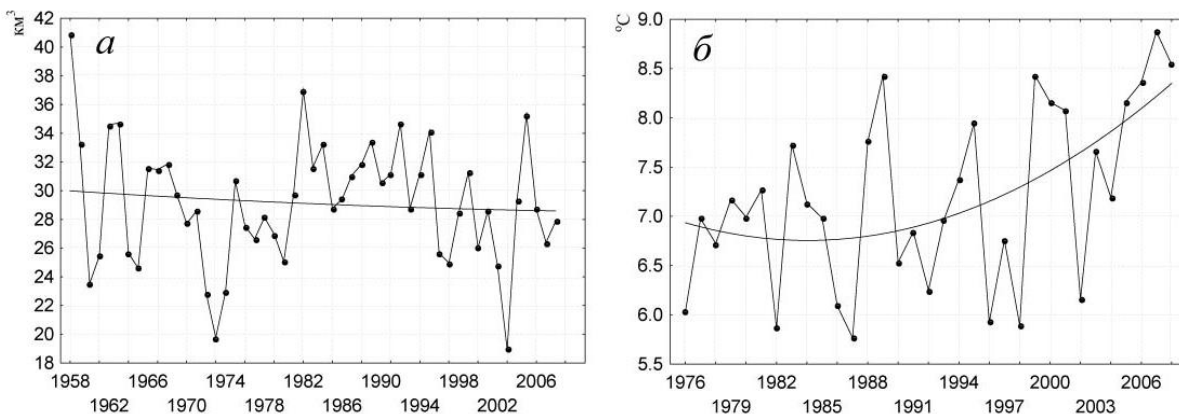


Рис.7. Межгодовое изменение стока р.Невы летом за 1958–2009 гг. (а) и температуры поверхности воды по п.Ломоносов за 1976–2008 гг. (б).

Для выявления взаимосвязей между гидрометеорологическими характеристиками и особенностями их временного хода, временные серии были приведены к единой размерности и записаны в долях от дисперсии исходных выборок (рис.8–10). Результаты расчетов показывают, что существует положительная связь между индексом NAO и зимней температурой воздуха (рис.8, а), индексом NAO и уровнем моря (рис.10). Четко выражена обратная взаимосвязь продолжительности ледового покрова в Финском заливе с зимней температурой воздуха и с уровнем моря (рис.9).

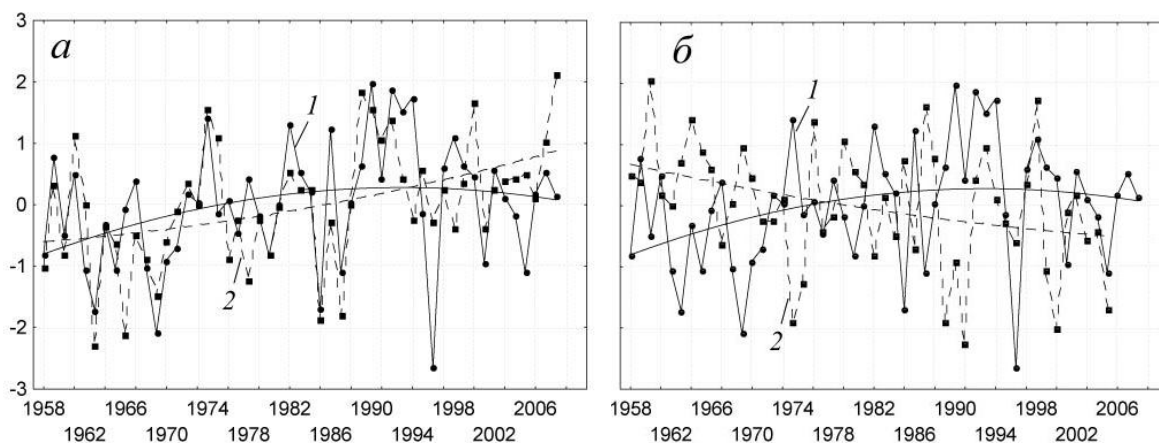


Рис.8. Нормализованные на дисперсию межгодовые изменения зимнего индекса NAO (1) за 1958–2010 гг. и зимней температуры воздуха (2) за 1958–2006 гг. (а); зимнего индекса NAO (1) за 1958–2010 гг. и времени покрытия льдом восточной части Финского залива (2) за 1958–2009 гг. (б).

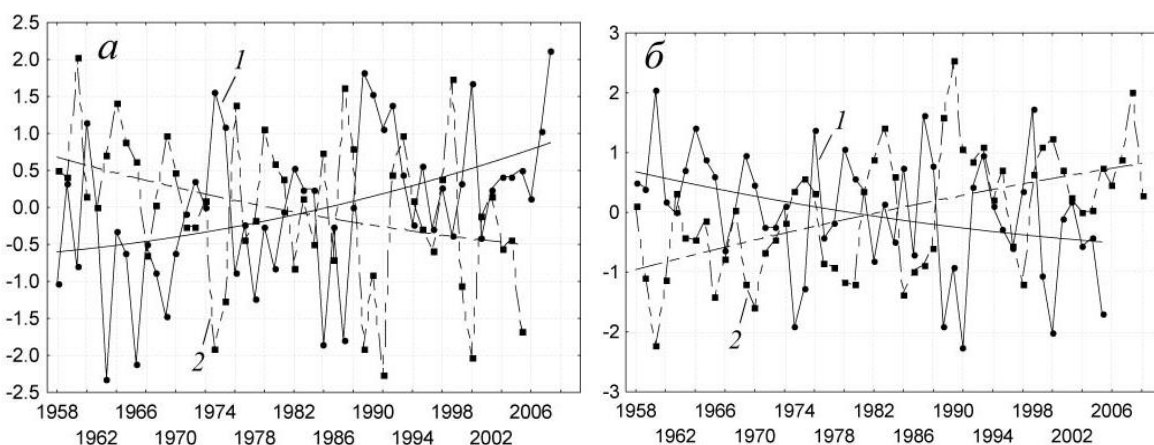


Рис.9. Нормализованные на дисперсию межгодовые изменения зимней температуры воздуха (1) и продолжительности покрытия льдом (2) за 1958–2006 г., продолжительности покрытия льдом (1) за 1958–2006 г. (а) и уровня моря (2) за 1958–2009 г. (б) в восточной части Финского залива.

Для оценки временных связей между исследуемыми характеристиками были рассчитаны линейные коэффициенты корреляции. При построении корреляционной таблицы использовались временные серии исследуемых параметров за 1958–2008 гг. Согласно корреляционной матрице (табл.3), хорошей согласованностью колебаний отличаются характеристики индекса NAO, продолжительности ледового покрова, зимних значений температуры воздуха и зимнего уровня Финского залива. В частности, отмечается значимая корреляция индекса NAO с зимней температурой воздуха и несколько менее выраженная с уровнем моря, коэффициентами корреляции 0.62 и 0.45 соответственно. Наибольшая отрицательная

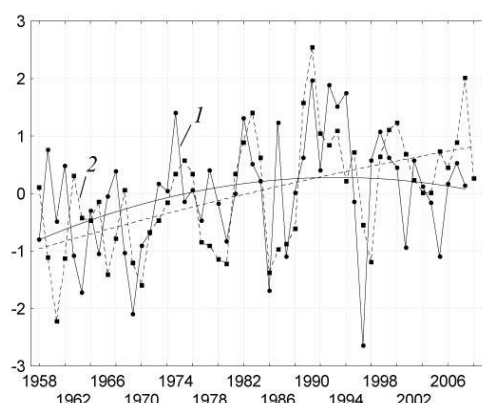


Рис.10. Нормализованные на дисперсию межгодовые изменения уровня моря в Финском заливе за 1958–2009 гг. (1) и зимних значений индекса NAO за 1958–2010 гг. (2).

корреляция ($R = -0.65$) отмечается между продолжительностью ледового покрова в Финском заливе и зимней температурой воздуха. Так же отчетливо выражена обратная взаимосвязь уровня моря с продолжительностью покрытия льдом восточной части Финского залива и атмосферным давлением в зимний период с коэффициентами корреляции -0.52 и -0.44 соответственно.

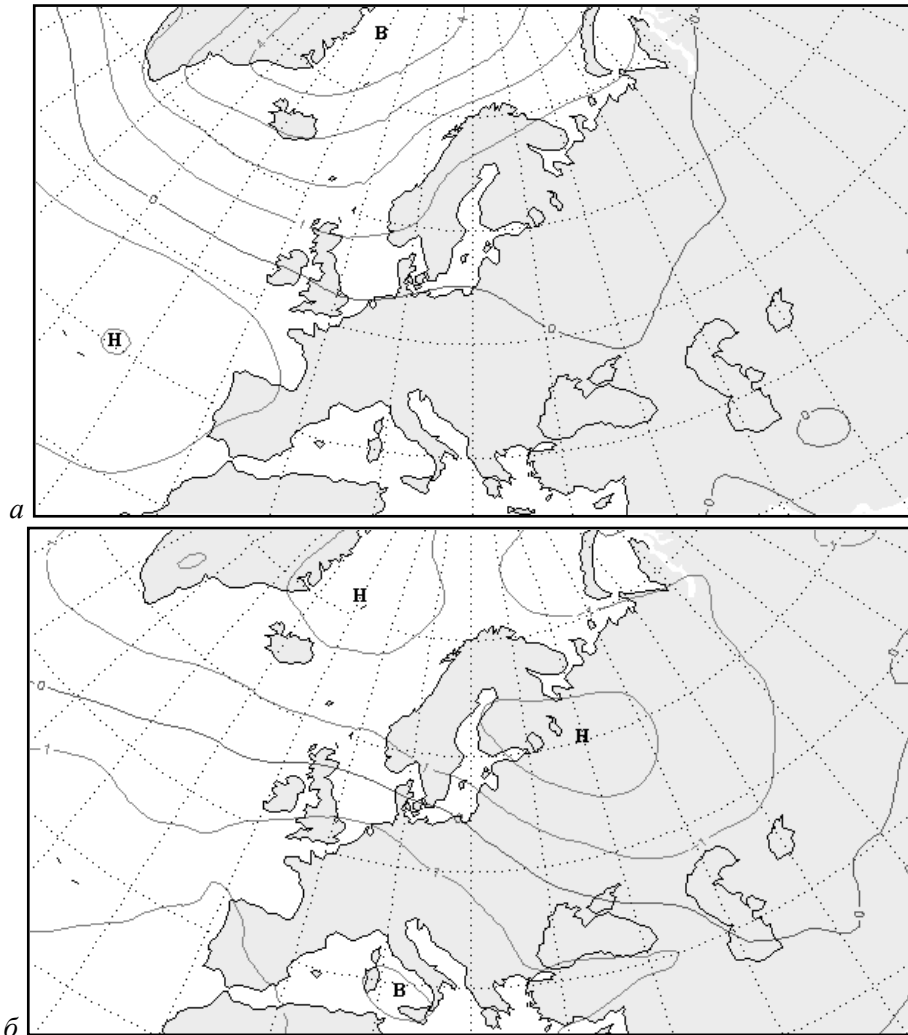


Рис.11. Аномалии приземного давления в зональную (а) и меридиональную (б) циркуляционные эпохи.

Представляется очевидным: при повышении температуры воздуха над акваторией восточной части Финского залива уменьшается время его покрытия льдом, что способствует росту уровня моря. Однако изменение индекса NAO может по-разному отражаться на изменчивости гидрометеорологических параметров. Увеличение индекса NAO обуславливает усиление западного переноса и поступление теплых и влажных воздушных масс в Балтийский регион, что приводит к повышению температуры воздуха, усилению скорости ветра, увеличению количества штормов [16] и, как следствие, росту уровня моря. Вместе с тем изменения трендов межгодового приземного давления в восточной части Финского залива и индекса Северо-Атлантического колебания четко показывают смену циркуляционных особенностей атмосферы атлантического сектора Северного полушария за период исследования. С 1960-х до 1980-х годов траектории циклонов проходили в основном через Балтийское море. С середины 80-х годов (1986–2010) над северо-западной частью Европы преобладает тип циркуляции, характе-

ризующийся смещением траекторий циклонов на север к Баренцеву морю и формированием гребня над Восточной Европой. Индекс Северо-Атлантического колебания, который начал падать с середины 80-х годов, также подчеркивает изменение циркуляционной эпохи с зонального типа циркуляции на меридиональный, особенно в летний сезон. Распределение аномалий приземного давления за эти две эпохи показаны на примере июльских карт (рис.11). Циклоны, перемещающиеся по северным траекториям, выносят в своих теплых секторах большее количество тепла на северную часть Балтийского моря. Уменьшение продолжительности ледового периода и рост температуры воздуха подтверждают этот вывод. Уменьшение количества циклонов, проходящих через акваторию Финского залива, приводит, в свою очередь, к уменьшению количества выпадающих здесь осадков, что обуславливает уменьшение стока Невы. Как было показано выше, наметившаяся тенденция уменьшения индекса NAO выражена очень слабо по сравнению с его ростом в предшествующие два десятилетия и средние значения индекса в настоящее время все еще находятся в положительной фазе, что свидетельствует о продолжающемся потеплении регионального климата.

Таблица 3

Корреляционная матрица для временных серий гидрометеорологических характеристик восточной части Финского залива с 1951 по 2009 г.

Гидрометеорологические характеристики	Индекс NAO в зимний период	Срок покрытия льдом	Расход р.Невы в летний период	Температура воздуха		Уровень моря		Атмосферное давление воздуха	
				в зимний период	в летний период	в зимний период	в летний период	в летний период	в зимний период
Индекс NAO в зимний период	1.00	-0.24	0.02	0.60	0.17	0.45	0.22	-0.14	-0.34
Срок покрытия льдом		1.00	-0.11	-0.65	-0.17	-0.52	-0.14	-0.00	0.23
Расход р.Невы в летний период			1.00	-0.06	-0.19	0.32	0.03	0.05	-0.11
Температура воздуха: зимний период летний период				1.00	0.29 1.00	0.62 -0.02	0.36 -0.15	0.08 0.15	-0.40 -0.13
Уровень моря: зимний период летний период						1.00	0.34 1.00	0.01 -0.10	-0.44 -0.20
Атмосферное давление: летний период зимний период								1.00	0.15 1.00

Примечание: Значимые коэффициенты выделены жирным шрифтом.

Представляется интересным провести сравнение полученных результатов с изменениями гидрометеорологических характеристик в южной части Балтийского моря. В работе [16] выполнен детальный анализ долговременной изменчивости среднегодового уровня в литовской прибрежной зоне Балтийского моря, а также проведена оценка влияния таких гидрометеорологических характеристик, как ветер, давление, осадки, температура вод и зимний индекс Северо-Атлантического колебания на рост уровня моря. Основные результаты исследования, основанные на статистическом анализе временных рядов за период 1961–2005 гг., позволили авторам выявить четкие тренды в ходе гидрометеорологических параметров в южной части Балтийского моря. Сравнение полученных результатов многолетней изменчивости гидрометеорологических характеристик в восточной части Финского залива с южной прибрежной акваторией [16] показывает, что рост среднегодовой температуры воздуха в северном прибрежном районе Балтики составил 1.7°C, в то время как на юге региона он не превышал 1°C. При этом продолжительность ледового покрова в южной части уменьшилась почти на месяц, а на севере – на 15 дней. Столь значительное сокращение продолжительности ледового покрова в южной части моря, при заметно меньшем росте температуры, связано с тем, что средние зимние температуры в Южной Балтике близки к нулевым и/или чуть более высоким значениям. На севере Балтики, где зимние температуры заметно ниже, повышение почти

на 2°C не может привести к более быстрому исчезновению льда, поскольку средние зимние значения температуры сохраняются в отрицательном диапазоне.

Средний уровень моря в Клайпедском проливе рос в среднем на 2.5 мм/год в течение 1961–2005 гг., а в восточной части Финского залива в зимний период рост уровня составлял 0.4 мм/год. Вместе с тем на севере Балтики, так же как и в ее южной части, большая изменчивость гидрометеорологических характеристик отмечалась в зимний период; выявлена также тесная связь таких гидрометеорологических характеристик, как температура воздуха и уровень моря с индексом NAO.

Можно заключить, что в восточной части Финского залива температура воздуха росла быстрее, чем на юге Балтики, но в изменчивости уровня отмечалась обратная тенденция. Однако на изменения среднего уровня в Северной Балтике значительное влияние оказывает подъем земной поверхности. Нетрудно рассчитать, что при средней скорости поднятия, которая оценивается в 2 мм/год [14] для восточной части Финского залива, возможный рост уровня за 50 лет мог бы составлять 11.9 см. Эта величина сопоставима с ростом уровня 6–20 см, наблюдаемым в различных районах Южной Балтики [15].

Проведенный анализ длительных рядов наблюдений в восточной части Финского залива показал, что за последние 50 лет произошли заметные изменения гидрометеорологических характеристик. Выявленные тренды по температуре воздуха, температуре воды, уровню моря и продолжительности покрытия льдом имеют четко выраженную направленность, а наибольшая изменчивость гидрометеорологических характеристик отмечается в зимний период. Самые значительные аномалии были зафиксированы в период 1991–2005 гг. Статистические оценки изменения температуры поверхности моря (ТПМ) показывают, что рост температуры, который за последние два десятилетия составил 0.08°C, значительно превышает рост температуры поверхности Мирового океана. Однако следует отметить, что столь быстрый рост ТПМ, начиная с начала 90-х годов, возможно связан с нарушением свободного водообмена в Невской губе, где располагается станция, в связи с началом строительства дамбы, входящей в состав комплекса защитных сооружений (КЗС) Санкт-Петербурга от наводнений. Для уточнения величины роста температуры поверхности моря необходимо было бы выполнить анализ наблюдений для станции, расположенной за пределами КЗС, но авторы не располагали такими данными. Однако значительный рост температуры воздуха в начале 90-х позволяет говорить о согласованности полученных оценок.

Устойчивая положительная тенденция роста уровня моря в зимний период связана с целым рядом факторов, основными из которых являются рост зимней температуры воздуха, сокращение продолжительности ледового покрытия и атмосферные циркуляционные процессы. Несмотря на отчетливо выраженную тенденцию роста уровня моря в зимний период, величина его составила всего лишь 1.9 см, что может быть объяснено влиянием подъема земной поверхности. Следует отметить, что среди факторов, влияющих на рост уровня, также необходимо учитывать временную изменчивость скорости и направления ветра [15–18], однако ввиду отсутствия репрезентативных рядов наблюдений в распоряжении авторов влияние ветра на изменения уровня моря не рассматривалось.

Сравнение с изменениями гидрометеорологических характеристик в Южной Балтике показало, что рост температуры воздуха и поверхности моря в восточной части Финского залива происходил быстрее. Вместе с тем рост уровня моря в южных прибрежных районах, по существующим оценкам [15, 16], составлял от 9 до 14 см за 45 лет, что значительно превышает величину, на которую вырос уровень в северо-восточной прибрежной зоне Балтийского моря. Продолжительность ледового покрова в южной части сократилась в 2 раза по сравнению с восточной частью Финского залива.

Необходимо подчеркнуть, что устойчивость согласованности колебаний гидрометеорологических параметров еще предстоит определить, но очевидно, что значимых связей не так много и долговременная компонента в изменчивости анализируемых параметров выражена достаточно слабо.

Таким образом, можно заключить, что потепление климата приводит к значительным различиям долговременных колебаний гидрометеорологических характеристик в географически различных прибрежных районах Балтийского моря.

Работа выполнена при поддержке аналитической ведомственной целевой программы «Развитие научного потенциала высшей школы (2009–2011 годы)» Министерства образования и науки РФ.

Литература

1. Assessment of Climate Change for the Baltic Sea Basin / BACC Author Team. Berlin: Springer-Verlag, 2008. 474 p.
2. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel. Cambridge, UK and New York, USA. Cambridge University Press, Climate Change. 996 p.
3. Climate Change and Water. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change / Eds.: Bates B.C., Kundzewicz Z.W., Wu S. and Palutikof J.P. Geneva: IPCC Secretariat, 2008. 210 p.
4. *Stigebrandt A., Gustafsson B.G.* Response of the Baltic Sea to climate change: theory and observation // *J. of Sea Res.* 2003. V.49. P.243–256.
5. *Vainio J.* et al. The Ice Season 2005–2006 // HELCOM Indicator Fact Sheets 2006 / Helcom commission. URL: http://www.helcom.fi/environment2/ifs/en_GB/cover/.
6. MetOffice Hadley Centre Observations Datasets: Hadley Centre Sea Ice and Sea Surface Temperature data set (HadISST). URL: <http://hadleyserver.metoffice.com/hadisst/data/download.html>.
7. *Ekman M.* The world's longest sea level series and winter oscillation index for Northern Europe 1774–2000 // *Small Publ. in Historical Geophys.* 2003. N 12. P.1–31.
8. *Johansson M.M.* et al. Scenarios for sea level on the Finnish coast // *Boreal Environ. Res.* 2004. V.9. P.153–166.
9. *Dailidienė I.* et al. Sea level variability at the Lithuanian coast of the Baltic Sea // *Boreal Environ. Res.* 2006. V.11. P.109–121.
10. *Johansson M.M.* An improved estimate for the long-term mean sea level on the Finnish coast // *Geophys.* 2003. V.39. P.51–73.
11. *Church J.A.* et al. Changes in sea level // *Climate Change 2001: The Scientific Basis (Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change)*, Cambridge, U.K.: Cambridge Univ. Press, 2001. P.639–694.
12. *Gornitz V.* Monitoring sea level changes // *Clim. Change.* 1995. V.31. P.515–544.
13. *Meier H.E.M.* et al. Simulated sea level in past and future climates of the Baltic Sea // *Climate Research.* 2004. V.27. P.59–75.
14. *Lepparanta M., Myberg K.* Physical Oceanography of the Baltic Sea // UK, Praxis Publ. Ltd., 2000. P.268–274.
15. *Dailidienė I.* et al. Long term water level and surface temperature changes in the lagoons of the southern and eastern Baltic // *Oceanologia.* 2011. V.53 (1-TI). P.293–309.
16. *Dailidienė I.* et al. Analysis of the climate change in Lithuanian coastal areas of the Baltic Sea // *J. of Coastal Res.* (in press).
17. *Аверкиев А.С., Клеванный К.А.* Расчет экстремальных уровней воды в восточной части Финского залива // *Метеорология и гидрология.* 2009. № 11. С.59–69.
18. *Гордеева С.М.* и др. О современных изменениях климата и уровня Финского залива // *Охрана окружающей среды и природопользование.* 2011. № 3. С.64–67.
19. Permanent Service for Mean Sea Level. <http://www.cru.uea.ac.uk>.
20. *Вайновский П.А., Малинин В.Н.* Методы обработки и анализа океанологической информации (одномерный анализ). Л.: ЛГМИ, 1991. 136 с.
21. *Дэвис Дж.* Статистический анализ данных в геологии. М.: Мир, 1990. 356 с.

Статья поступила в редакцию 24.11.2011 г.

