

© Е. Е. ЕСЮКОВА, Ж. И. СТОИТ

О ВЛИЯНИИ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА БЕРЕГОВЫЕ ПРОЦЕССЫ ПОБЕРЕЖЬЯ ВИСЛИНСКОГО ЗАЛИВА

Введение. Вислинский залив — обширная мелководная лагуна, которая расположена в юго-восточной части Балтийского моря, в глубине Гданьского залива и отделена от Балтийского моря песчаной Вислинской (Балтийской) косой; связь с морем осуществляется через единственный Балтийский пролив, ширина которого 400 м и глубина 8—12 м. Залив расположен в зоне умеренных широт, для которой характерны активная штормовая деятельность в осенне-зимний период, небольшие годовые колебания температуры воздуха, большая влажность и облачность, осадки [4, 6]. Залив является одной из самых больших лагун Балтики, объектом интенсивного изучения [4]. Однако интенсификация освоения побережья Вислинского залива, необходимость развития рекреационных зон при усилении штормовой активности и, следовательно, активизации процессов размыва берегов вызвали необходимость оценить современное состояние берега, его динамику, экологическую обстановку в течение года.

Цель исследования — сравнительный анализ результатов еженедельного мониторинга побережья в северо-восточной части Вислинского залива в районе пос. Прибрежный (Калининградская область) в течение года (с марта 2011 по март 2012 г.) с ветровым режимом, ходом атмосферного давления в юго-восточной части Балтийского моря, уровнем режимом р. Преголя.

Анализируемые данные и их источники. В статье использовались данные, полученные в результате еженедельного мониторинга наиболее посещаемого участка берега в северо-восточной части Вислинского залива в районе пос. Прибрежный (Калининградская область). На участке побережья залива длиной 700 м (рис. 1) выбраны 6 стационарных реперов. Основной составляющей мониторинга являлось измерение мерной лентой ширины пляжа (поперек берега от уреза через пляж до репера), фотографирование, измерение уклона пляжа (с помощью комплекса приборов). За основу работ принята методика берегового мониторинга последних лет, проводимого Атлантическим отделением Института океанологии РАН [2, 3]. Фотомониторинг — это одна из основных составляющих общего комплексного мониторинга побережья. Фотоматериалы регулярных наблюдений наглядно отображают состояние побережья, позволяют увидеть влияние штормовых волновых процессов, фиксировать динамику берега, изменения экологической ситуации. Наблюдения проводились с периодичностью раз в неделю в основном с 12 до 14 ч по местному времени. За период наблюдений с 1 марта 2011 по 10 марта 2012 г. проведено 50 измерений ширины пляжа на 6 профилях (рис. 1) с точностью до 0.5 м.

Проведен сравнительный анализ с привлечением наблюдений ветрового режима (архивы погоды для г. Балтийск (<http://rp5.ru>)), карт приземного анализа (<http://wetterzentrale.de>), измерений атмосферного давления в юго-вос-

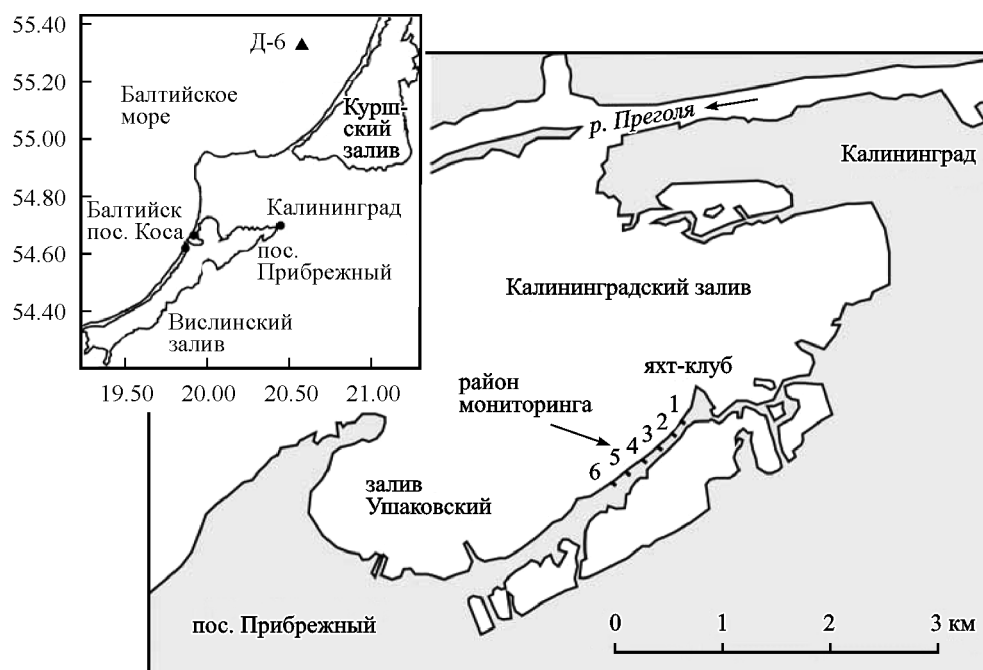


Рис. 1. Район мониторинга (цифрами обозначены положения стационарных профилей).
На врезке — расположение точек метеорологического мониторинга, данные которых использованы в статье. Пос. Коса — Вислинская (Балтийская) коса; г. Балтийск — Вислинский залив; музейное судно «Витязь» — г. Калининград; Д-6 (МЛСП — морская ледостойкая стационарная платформа) — Балтийское море.

точной части Балтийского моря (по данным АГМС, установленной на МЛСП Д-6), уровневого режима р. Преголя (по данным гидрометеорологических наблюдений на музейном судне «Витязь», расположенном в центре Калининграда в пойме р. Преголя; дискретность 1 раз/сут в околополуденное время — 09 UTC) за период наблюдений с 1 марта 2011 г. по 10 марта 2012 г. Также проведено сравнение метеорологических условий и уровневого режима в 2011—2012 гг. с результатами многолетних наблюдений с 1997 по 2007 г. (использованы архивы погоды и уровневого режима для Балтийской косы по данным наблюдений научной станции АО ИО РАН [1]) с целью выявить наличие или отсутствие общих закономерностей комплекса условий, приводящих к наблюдаемым в ходе мониторинга экологическим ситуациям и динамике берега в северо-восточной части Вислинского залива.

Динамика ширины берега и относительного уровня залива. За период наблюдений зафиксирована максимальная ширина пляжа 19.0 м (12 марта 2011 г.), минимальная — 0 м (во время шторма 14 января 2012 г.). Годовой ход изменчивости ширины пляжа на каждом профиле представлен на рис. 2. Уклон пляжа в среднем составляет 0.05 ± 0.02 . Погрешности для значений ширины и уклона пляжа рассчитаны согласно методам обработки результатов наблюдений (для прямых измерений с многократными наблюдениями) [5]. Измерения позволили оценить максимальный относительный уровень залива (при минимальной ширине пляжа (рис. 3)) в районе наблюдений: $H_{\max} = 0.9 \pm 0.3$ (полученные значения оценочные). Для всех измеренных значений

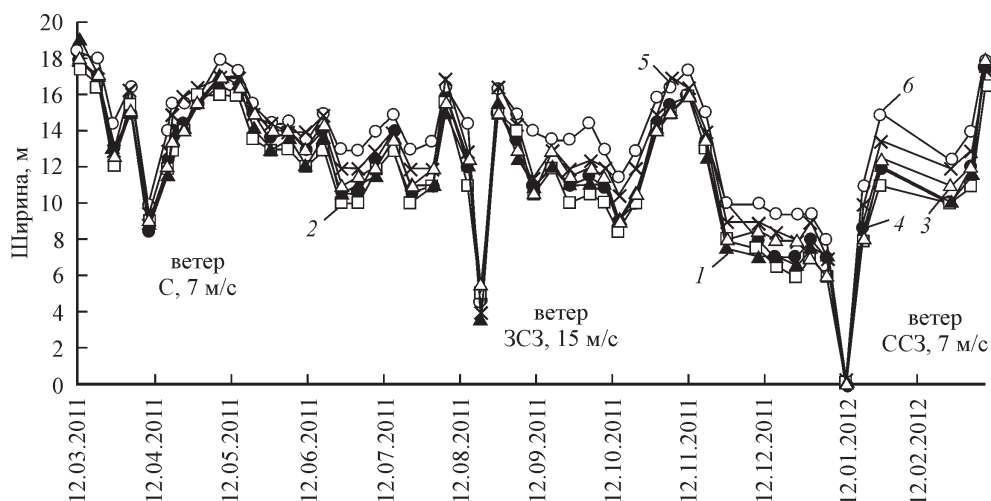


Рис. 2. Внутригодовые изменения ширины пляжа на каждом профиле (1—6) за период наблюдений.

ширины пляжа получены значения относительного изменения уровня Вислинского залива по формуле:

$$H/H_{\max} = 1 - L/L_{\max}, \quad (1)$$

где $L_{\max}$ — максимальная ширина пляжа за период наблюдений (м), L — ширина пляжа (м), $H_{\max}$ — максимальный относительный уровень залива за период наблюдений (м), H — относительный уровень залива (м), $H/H_{\max}$ — относительное изменение уровня залива (рис. 3).

Регистрируемые подъемы и спады уровня залива являются в основном следствием влияния метеорологических условий, в которых основная роль принадлежит ветру [4, 7, 8]. При измерении ширины пляжа (и соответственно изменении уровня залива), производимых лишь 1 раз в неделю, могли быть пропущены пиковые моменты, но тем не менее годовой ряд систематических еженедельных измерений дает возможность получить некоторые оценки динамики уровня Вислинского залива в районе наблюдений.

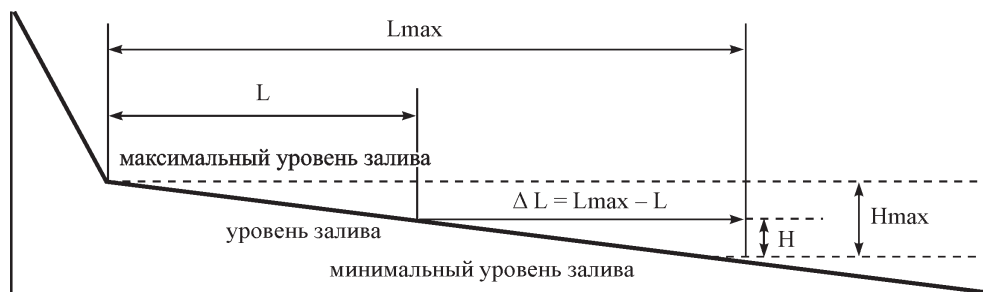


Рис. 3. Схема профиля берега.

$L_{\max}$ — максимальная ширина пляжа за период наблюдений (м), L — ширина пляжа (м), $\Delta L = L_{\max} - L$ — изменение ширины пляжа (м), $H_{\max}$ — максимальный относительный уровень залива за период наблюдений (м), H — относительный уровень залива (м).

Усиление ветра связано с прохождением циклонических вихрей, которые и определяли погоду над Юго-Восточной Балтикой. Характерные синоптические ситуации в трех случаях резкого уменьшения ширины пляжа (9 апреля 2011 г., 20 августа 2011 г., 14 января 2012 г.; рис. 2) рассмотрены более подробно. Так, 2 апреля 2011 г. ширина пляжа составила 15—16.5 м, 9 апреля — 8.5—10 м, 17 апреля — 11.5—14 м. Предшествующее с начала апреля влияние гребня антициклона с центром над Нижней Волгой было прервано активными фронтальными разделами от атлантического циклона, который немецкие метеорологи нарекли мужским именем Инго (INGO), глубиной 985 гПа, смещающегося с юга Швеции на юг Финляндии. Этот атмосферный вихрь, набирая силу, устремился на юго-восток Европейской России, оставляя ЮВ Балтику в своем холодном и ветреном тылу. Ветер от западных румбов усиливался до 8 баллов (очень крепкий ветер); заходя к северо-западу, ветер в порывах достигал 22 м/с (сильный шторм). Сформировалось ветровое волнение от северо-запада.

Более узкий пляж (3.5—5.5 м) наблюдался 20 августа 2011 г. В эти дни погоду ЮВ Балтики стала определять активная система фронтов, связанная с атлантическим циклоном WILFRIED, смещающимся вдоль южного побережья Северного и Балтийского морей, через о-в Готланд, Рижский залив в глубь континента. Погодные условия резко ухудшились. В тыловой части этого циклона северо-западный ветер достиг силы 8 баллов (очень крепкий ветер), в порывах до 22 м/с. При грозах наблюдалось шквалистое усиление ветра. Развилось ветровое волнение западных румбов.

Практически полное отсутствие пляжа (0 м) 14 января 2012 г. связано с очередным атлантическим циклоном, центр которого 13 января оказался в Ленинградской области. Заполняясь, он стал смещаться в южном направлении. Калининградская область оказалась на северо-западной периферии этого циклона; ветер северных румбов (NW-N) усилился до шторма. По ежечасным данным АГСМ, установленной на МЛСП D-6, 14 января 2012 г. в 06 ч был измерен ветер 340° 22 м/с, с порывами 28 м/с, продолжительность шторма составила 36 ч. Такая скорость ветра возможна 1 раз в 5 лет при осреднении 5 сек. Расчетная вероятность появления такого ветра от северных румбов составляет менее 0.1 % [9]. Высоко стоящий уровень при нагонных ветрах северных румбов резко поднялся до отметки 140—160 см (по модельным данным польского сайта <http://model.ocean.univ.gda.pl/>). Сформировавшееся волнение высотой до 2—3 м от севера при высоком уровне в течение 1.5 сут обрушивалось на берег в районе наблюдений, что вызвало исчезновение и смыв пляжа.

Анализ гистограмм повторяемости значения модуля скорости ветра для г. Балтийск (дискретность 8 раз/сут) показал, что преобладали ветры со скоростями 2—5 м/с (56.6 %), ветры со скоростями ≥ 10 м/с отмечены в 7 % случаев, сильные ветры (больше 14 м/с) — в 1.1 % случаев (табл. 1). Средняя скорость ветра за рассматриваемый период 4.5 ± 0.28 м/с (расчет случайной погрешности проведен согласно [4]). На МЛСП D-6, расположенной в ~ 20 км от берега (дискретность 8 раз/сут), преобладали ветры со скоростями 6—9 м/с (35 %), слабые ветры (2—5 м/с) отмечены в ~ 30 % случаев, скорость 10—13 м/с встречается в 22 % случаев и сильные ветры (больше 14 м/с) — в 10.4 % случаев. Средняя скорость ветра за рассматриваемый период 8.0 ± 0.22 м/с. В точке наблюдения г. Балтийск в половине всех случаев (52.4 %) преобладали ветры западных румбов (З — 17.8, ЮЗ — 17.5, СЗ — 17.1 %); в точке наблюдения МЛСП D-6 преобладающими также были ветры

Таблица 1

Повторяемость (%) скорости и направления ветра, измеренного за период
март 2011—март 2012 г. в г. Балтийск и на МЛСП D-6

Пункт	Скорость, м/с	Направление (румб)								Σ
		N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	
Г. Балтийск	≤ 1	1.5	2.1	2.4	2.5	1.2	0.7	0.5	0.5	11.4
	2—5	8.6	3.3	5.6	9.5	6.0	9.0	6.7	7.9	56.6
	6—9	1.6	0.1	0.1	0.3	2.6	6.2	7.0	6.2	24.1
	10—13					0.1	1.5	3.3	2.0	7.0
	14—17							0.3	0.6	0.9
	18—20							0.1		0.1
	≥ 21							0.1		0.1
МЛСП D-6	≤ 1	0.4	0.2	0.1	0.3	0.3	0.2	0.3	0.4	2.2
	2—5	2.0	3.4	3.6	3.0	2.3	2.2	6.2	7.0	29.7
	6—9	3.4	3.6	3.4	4.5	3.1	2.8	8.7	5.8	35.3
	10—13	2.0	1.0	0.5	2.9	4.4	2.6	7.2	1.6	22.3
	14—17	1.0			0.8	0.9	1.2	3.3	0.7	7.8
	18—20	0.1				0.1	0.4	1.5	0.1	2.1
	≥ 21	0.1						0.4		0.5

западных направлений (З — 27.7, СЗ — 15.8, ЮЗ — 9.4 %). Самые сильные ветры наблюдались 20 августа 2011 г. (11—17 м/с, З), 26—29 ноября 2011 г. (8—29 м/с, ЮЗ, З, СЗ), 11—14 января 2012 г. (7—22 м/с, СЗ, С, СВ), 23—25 февраля 2012 г. (8—18 м/с, ЮЗ, З, СЗ) с порывами до 28—37 м/с.

При анализе временного хода приведенного к уровню моря атмосферного давления на морской платформе МЛСП D-6 (с дискретностью 4 раз/сут)

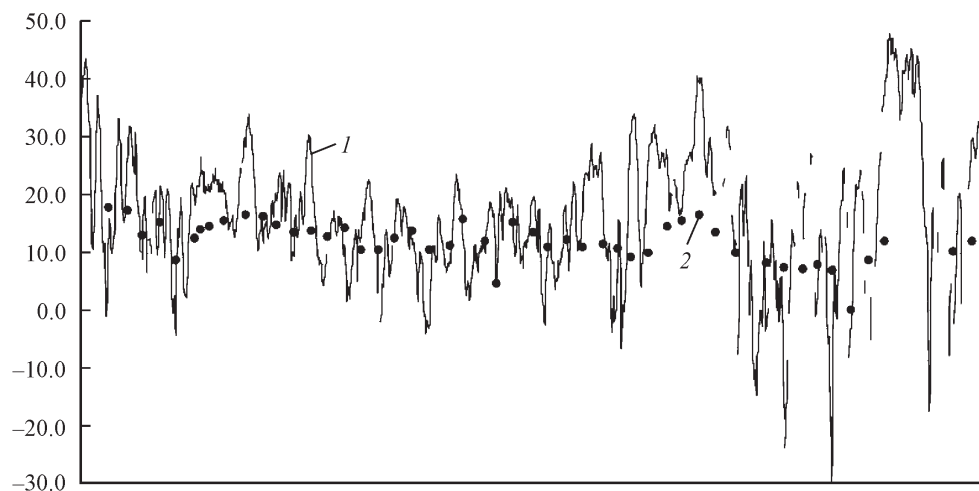


Рис. 4. Временной ход атмосферного давления (1) (+1000 гПа) на морской платформе МЛСП Д-6 (с дискретностью 4 раз/сут) и ширины пляжа (2) (м) (с дискретностью 1 раз/неделя).

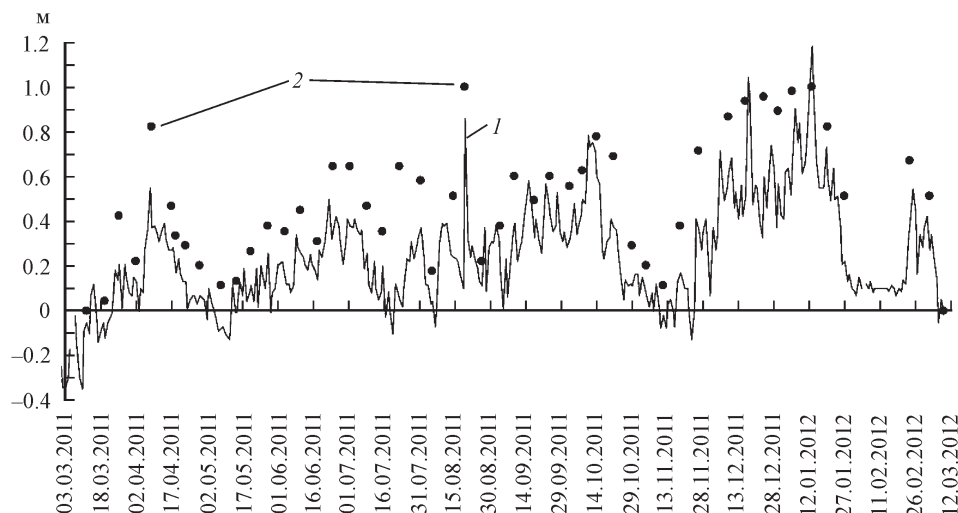


Рис. 5. Временной ход уровня (м) р. Преголя (1) (с дискретностью 1 раз/сут) и относительного уровня Вислинского залива (2) (с дискретностью 1 раз/неделя).

(рис. 4) отмечена синхронность изменения атмосферного давления и ширины пляжа (коэффициент корреляции между характеристиками 0.53). Относительный уровень Вислинского залива тесно связан с уровнем режимом р. Преголя (коэффициент корреляции 0.91) (рис. 5).

При усилении ветра западных румбов до штормового в отдельных случаях наблюдается полное исчезновение пляжа, что приводит к сильной эрозии береговых склонов (оползни, волновой размыв). Отмечено, что осенью—зимой 2011—2012 гг. (27—29 ноября 2011 г. и 11—14 января 2012 г.) при штормовом ветре и нагонных явлениях наблюдалось резкое повышение уровня воды на побережье Вислинского залива в районе мониторинга, что привело к образованию уступов размыва высотой до 0.7 м, с отступанием бровки уступов в среднем на 1—1.5 м.

Сравнение метеорологических условий и уровня режима в 2011—2012 гг. с результатами многолетних наблюдений с 1997 по 2007 г. Оценка хода среднемесячных характеристик (атмосферное давление, уровеньный режим, ветровой режим) за 1997—2007 гг. (с марта по март) выявила корреляцию с ходом среднемесячных характеристик за 2011—2012 гг. по следующим позициям:

— по среднему модулю скорости ветра 1999—2000 и 2003—2004 гг. (коэффициент корреляции выше 0.81—0.84), 1998—1999 и 2004—2005 гг. (0.68—0.69), 2001—2002 и 2005—2006 гг. (0.63—0.66);

— по векторному направлению 2000—2001, 2001—2002, 2003—2004, 2004—2005 гг.;

— по атмосферному давлению 1999—2000 (0.34), 2003—2004 (0.33), 2004—2005 гг. (0.45);

— по уровню 1999—2000 (0.37), 2003—2004 (0.63), 2004—2005 (0.73), 2006—2007 гг. (0.50).

Для сравнения наблюдений за окружающей обстановкой при выполнении ежедневного мониторинга залива были взяты ряды наблюдений в пос. Коса (Балтийская коса, западная часть Вислинского залива) в 1999—2000 и 2003—

2004 гг. и в пос. Прибрежный (северо-восточная часть Вислинского залива) в 2011—2012 гг. Эти периоды показали наибольшие коэффициенты корреляции между отдельными параметрами. Выявлены общие черты в годовом ходе уровня залива (рис. 6). В весенние месяцы наблюдался резкий подъем уровня при таянии снега и весеннем половодье рек, впадающих в залив. В летние месяцы подъем уровня наблюдался при прохождении активных циклонов, которые вызывали нагон воды в залив (27 августа 2003 г., 20 августа 2011 г.). В осенне-зимние месяцы при усилении ветров западных румбов наблюдался подъем воды до основания склона у пос. Прибрежный (27 ноября 2011 г., 14 января 2012 г.), а в пос. Коса из-за сильного прилива и подъема уровня (~ 60 см) берег был залит водой вплоть до строений (27 февраля 1999 г.).

Оценка состояния берега и прибрежных вод в местах наблюдения дала следующие результаты. Характер загрязнений побережья и прибрежных вод сохраняется. Отмечено, что если в начале 2000-х гг. в основном отмечались выбросы естественного происхождения (камыш, сухая трава, обрывки водорослей, тина, ветки), то в 2011—2012 гг. добавился мусор антропогенного происхождения (бытовой мусор, обрывки рыболовных сетей и т. д.). На пляже в районе пос. Прибрежный в 2011 г. часто встречались тушки рыб (лещ, судак, окунь) и россыпи крупных ракушек двустворчатого моллюска-вселенца *Rangia cuneata* (до 4,5—5 см). При усилении ветра на поверхности воды образовывались полосы грязной пены, а у уреза воды (особенно между песчаными валами) часто наблюдалась бело-желтая пена плотной консистенции (пена — в 43 % случаев еженедельных наблюдений в 2011—2012 гг., повышенная мутность и слабое «цветение» воды — в 39 % случаев, гиперцветение воды отмечено в 4 % случаев — 4 июня и 15 октября 2011 г.). Водная поверхность залива в гавани пос. Коса иногда покрывалась нефтяной пленкой, в конце июля—начале августа отмечалось бурное развитие водорослей *Volvox* (вольвокс), в сентябре наблюдались мелкие медузы *Aurelia aurita*.

Чтобы оценить связь между различными характеристиками, была введена балльная система (рис. 7):

пенообразование — необильная пена, точно — 1; обильная пена — 2; цветение, гиперцветение с обильной, плотной пеной — 3;

состояние воды — прозрачная — 0; зеленовато-прозрачная — 1; зеленовато-мутная — 2; мутная со взвесью — 3; ярко-зеленая — 4;

выбросы на берег — мелкий мусор (трава, тина) — 1; клубки тины, травы и водорослей, стебли камыша — 2; крупные водоросли, крупный мусор, вырванные дернины камыша — 3; огромные выбросы (валы) камыша — 4.

Величина влияния определенного фактора на исследуемый отклик может быть оценена при помощи коэффициента линейной парной корреляции, характеризующего меру линейной связи между двумя рассматриваемыми характеристиками. При анализе коэффициентов корреляции между характеристиками, полученными в результате наблюдений в районе пос. Прибрежный (относительный уровень залива, пенообразование, выбросы «мусора» на берег, состояние воды), с метеорологическими условиями в момент наблюдений (скорость и направление ветра, атмосферное давление) в 2011—2012 гг. отмечено, что низкие коэффициенты корреляции наблюдаемых характеристик с метеорологическими условиями в момент наблюдений несколько меняются при сравнении с метеорологическими условиями за 1—3 дня до момента наблюдений. Например, коэффициент корреляции скорости ветра и относительного уровня залива повышается до 0.63 против 0.57, направления

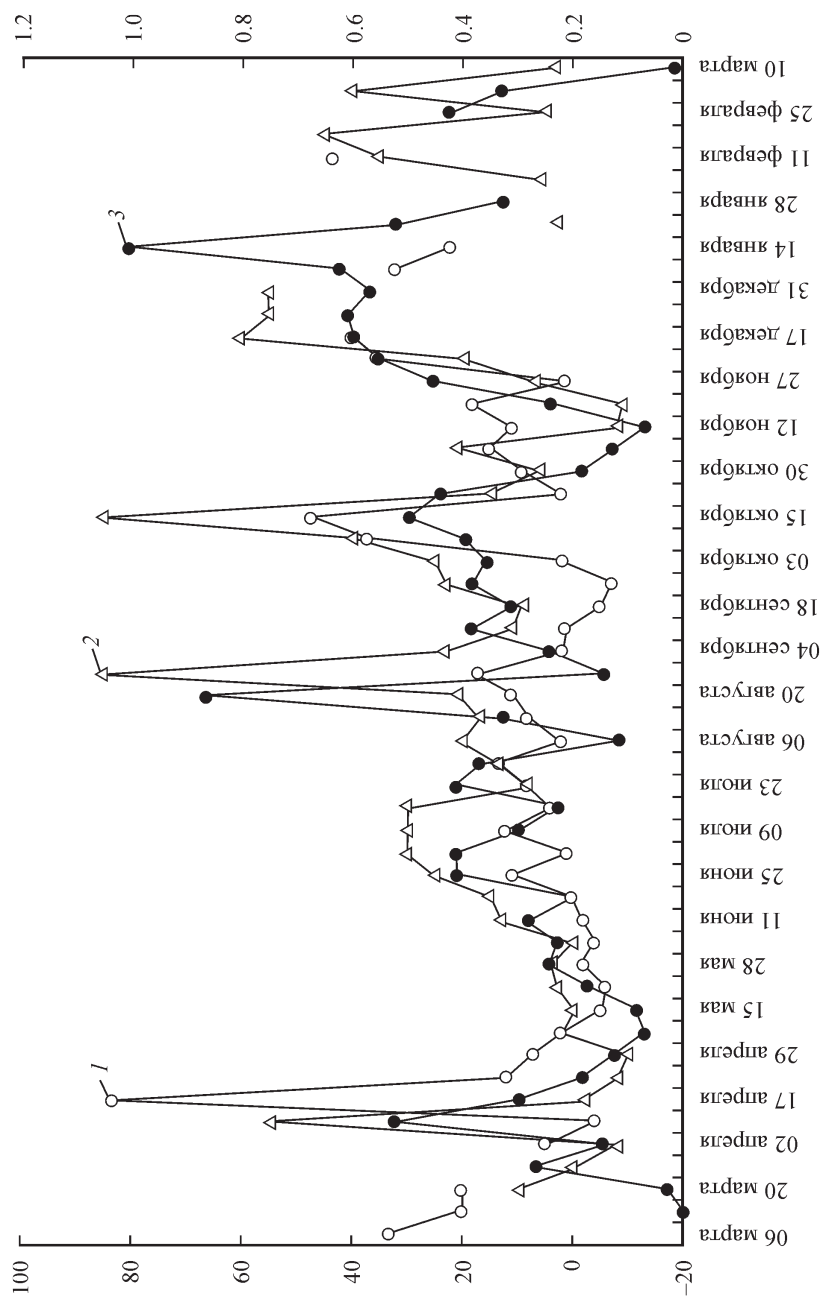


Рис. 6. Ход уровня по данным мониторинга залива в пос. Коса (Балтийская коса) в 1999—2000 (1) и 2003—2004 гг. (2) (левая шкала — см БС) и пос. Прибрежный в 2011—2012 гг. (3) (правая шкала — относительный уровень).

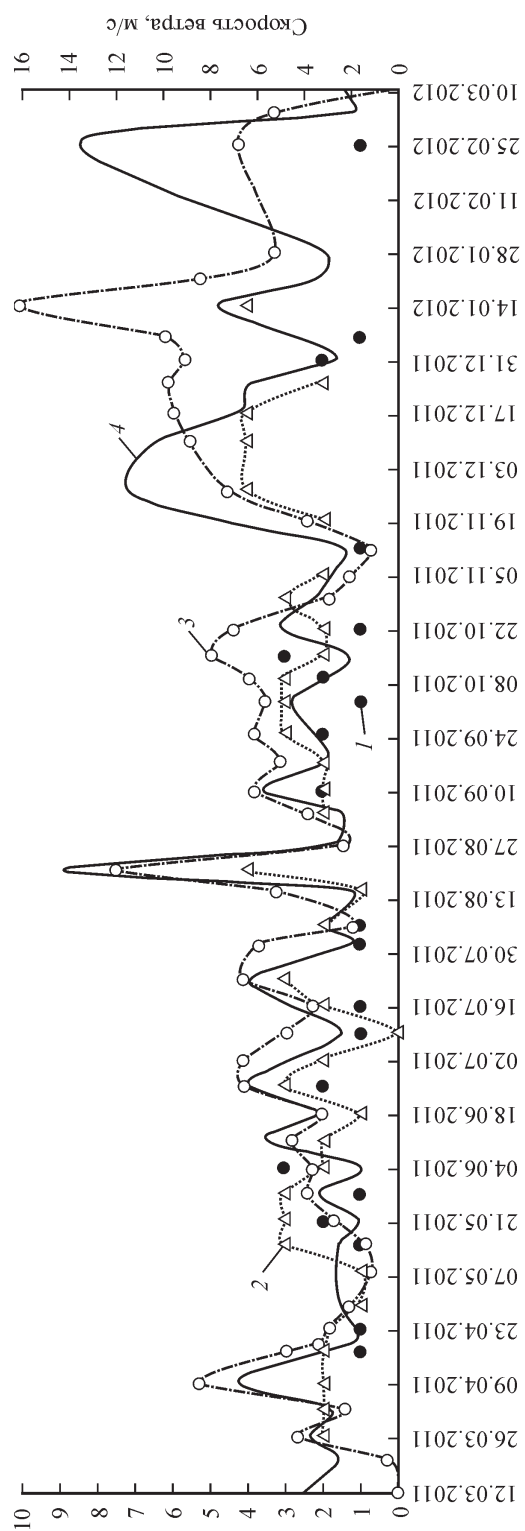


Рис. 7. Связь между случаями наблюдения пенообразования (1) (баллы с 1 до 3), выбросов мусора на берег (2) (баллы с 1 до 4), относительно-го изменения уровня ($\text{м}^3 \cdot 10$) (3) и скоростью ветра (4) в момент наблюдений (<http://gr5.ru>, г. Балтийск) в районе пос. Прибрежный за период 1.03.2011—10.03.2012 г.

Таблица 2

Коэффициенты множественной корреляции между характеристиками, полученными в результате наблюдений в районе пос. Прибрежный, и метеорологическими условиями в 2011—2012 гг.

Характеристики	Скорость ветра и атм. давление	Направление ветра и атм. давление	Скорость и направление ветра	Скорость и направление ветра, атм. давление
Относительный уровень	0.63	0.55	0.57	0.82
Пенообразование	0.33	0.44	0.37	0.54
Выбросы «мусора»	0.65	0.55	0.63	0.87
Состояние воды	0.06	0.25	0.26	0.26

ветра и относительного уровня повышается до 0.32 против 0.29. В то же время коэффициент корреляции направления ветра с пенообразованием резко уменьшается до 0.13 против 0.37, с состоянием воды — до 0.06 против 0.25, с выбросами на берег — до 0.26 против 0.41. Наиболее объективную информацию дает расчет коэффициентов множественной корреляции, учитывающих многофакторное влияние на рассматриваемые характеристики. Так, например, относительный уровень залива зависит от ветрового режима, скорости и направления ветра (коэффициент множественной корреляции 0.57), от ветрового режима и давления (0.83) (табл. 2). Анализ подтвердил, что подъемы и спады уровня залива тесно связаны с ходом атмосферного давления и ветровым режимом [4, 7, 8], причем существует некоторое время запаздывания реакции залива, по оценкам — около 1—3 сут. Однако на наблюдаемое состояние воды сильно влияет направление ветра, а на выбросы различных видов мусора на берег влияет в основном скорость ветра.

Выводы

Относительный уровень Вислинского залива тесно связан с уровнем режимом р. Преголя (коэффициент корреляции 0.91). Отмечена синхронность изменения атмосферного давления и ширины пляжа (коэффициент корреляции между характеристиками 0.53). За период наблюдений с 1 марта 2011 по 10 марта 2012 г. получены оценочные значения максимального относительного уровня залива (относительно условного минимального уровня воды): размах колебаний 0.6—1.2 м.

В осенне-зимний период 2011—2012 гг. при штормовом ветре и нагонных явлениях наблюдалось резкое повышение уровня воды на побережье в северо-восточной части Вислинского залива в районе пос. Прибрежный, что привело к образованию уступов размыва высотой до 0.7 м, с отступанием бровки уступов в среднем на 1—1.5 м.

При сравнении метеорологических условий и уровня режима в 2011—2012 гг. (рис. 4—6) с результатами многолетних наблюдений с 1997 по 2007 г. получена корреляция по всем характеристикам (вплоть до 0.84 по модулю скорости ветра) с характеристиками 1999—2000, 2003—2004 и 2004—2005 гг. Это позволяет предположить, что наблюдаемые в 2011—2012 гг. бе-

реговые процессы в северо-восточной части Вислинского залива в районе пос. Прибрежный могли иметь место и в эти годы, что требует сбора дополнительной информации.

Анализ подтвердил, что подъемы и спады уровня залива тесно связаны с ходом атмосферного давления и ветровым режимом [4, 7, 8], причем существует некоторое время запаздывания реакции залива, по оценкам — около 1—3 сут. Однако на наблюдаемое состояние вод залива сильно влияет направление ветра, а на различные виды выбросов на берег естественного и антропогенного происхождения влияет в основном скорость ветра.

Анализ проводился при поддержке гранта РФФИ № 11-05-00674.

Список литературы

- [1] *Абрамов Р. В., Стонт Ж. И.* «Витязь» и «Балтийская коса». Погода и экологическая обстановка 1997—2002 гг. Данные лаборатории морской метеорологии АО ИО РАН / Отв. ред. Е. В. Краснов. Калининград: Изд-во КГУ, 2004. 307 с.
- [2] *Бобыкина В. П., Болдырев В. Л.* Методика мониторинга берегов Калининградской области // Проблемы управления и устойчивого развития прибрежной зоны моря: материалы XXII Международ. конф. Геленджик, 2007. С. 52.
- [3] *Болдырев В. Л., Бобыкина В. П., Чубаренко Б. В., Бурнашев Е. М., Карманов К. В.* Абразионные процессы на берегах Юго-Восточной Балтики // Учение о развитии морских берегов: вековые традиции и идеи современности: материалы конференции. СПб., 2010. С. 54—55.
- [4] Гидрометеорологический режим Вислинского залива / Под ред. Н. Н. Лазаренко, А. Маевского. Л., 1971. 279 с.
- [5] ГОСТ 8.207—76. ГСИ. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений.
- [6] Лоция Балтийского моря. Ч. 1. Восточная часть моря с Финским и Рижским заливами. Л., 1968. 548 с.
- [7] *Навроцкая С. Е., Гуцин О. А., Стонт Ж. И.* Колебания уровня р. Преголя в центре Калининграда в 1996—2008 гг. // Вестник Российского государственного университета им. И. Канта. Калининград, 2011. Вып. 1. С. 28—35.
- [8] *Навроцкая С. Е., Чубаренко Б. В.* О повышении уровня моря в российской части Вислинского залива // Метеорология и гидрология. 2012. № 1. С. 57—67.
- [9] Справочник по климату СССР. Вып. 6. Часть III. Л., 1966. 92 с.

Калининград
elena_esiukova@mail.ru
Атлантическое отделение Института океанологии
им. П. П. Шишова РАН

Поступило в редакцию
23 октября 2012 г.