

УДК 551.506 (261.24)

В. Ф. Дубравин, М. В. Капустина, Ж. И. Стонт

**ЭВОЛЮЦИИ (СЕЗОННАЯ И МЕЖГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ)
СУТОЧНОГО ХОДА ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ
ЮЖНОЙ БАЛТИКИ**

35

Приведены результаты анализа данных натуральных наблюдений (температура воздуха (T_a), точка росы (T_d), или относительная влажность (f), атмосферное давление на уровне моря (P_0) и скорость ветра (W)), полученных автоматической гидрометеорологической станцией МиниКРАМС-4, установленной в пределах экономической зоны РФ в юго-восточной части Балтийского моря на морской ледостойкой стационарной нефтяной платформе ООО «ЛУКОЙЛ-КМН» (D6), а также на станциях мониторинговой сети MARNET Немецкого центра океанографических данных (BSH/DOD(M41)) за 2002–2016 гг., на которых кроме метеозаписей исследованы температура T_w и соленость S верхнего слоя моря. По авторской временной модели получены оценки вкладов каждого вида колебаний в суммарную временную изменчивость. Рассмотрены внутригодовая и межгодовая изменчивости удельного вклада суточной компоненты гидрометеозаписей. Показано, что структура временных рядов (в том числе и суточная составляющая) для гидрометеорологических элементов в Южной Балтике зависит как от местоположения станции, так и от характера самого метеозаписей.

We present the results of an analysis of field observations of the air temperature T_a , the dew point T_d (relative humidity f), the sea-level atmospheric pressure P_0 , and the wind speed W . The data were obtained by a Mini-KRAMS-4 hydrometeorological facility installed within Russia's exclusive economic zone in the southeastern Baltic Sea on the LUKOIL-KMN (D6) offshore ice-resistant fixed platform and at MARNET monitoring stations of the German Oceanographic Datacentre (BSH / DOD (M41)) in 2002–2016. Alongside meteorological elements, we studied the temperature T_w and the salinity S of the upper sea layer. Using our own time series model, we estimated the contributions of each mode to the total temporal variability. In the article, we examine the intrannual and interannual variability of the specific contribution of the daily component of hydrometeorological elements. We show that the time series structure (including the daily component) for the hydrometeorological elements in the southern Baltic Sea depends both on the location of the station and on the nature of each meteorological element.

Ключевые слова: короткопериодная и долгопериодная изменчивость, метеозаписей, дисперсионный, гармонический и корреляционный анализ.

Keywords: short-term and long-term variability, meteorological elements, dispersion, harmonic and correlation analysis.



Введение

Неотъемлемым свойством процессов, протекающих в Мировом океане и в атмосфере над ним, является изменчивость гидрометеорологических элементов в различных пространственно-временных масштабах: микро-, мезо- и макро-. Следует иметь в виду, что существует большое количество моделей (классификаций) как для пространственной, так и для временной изменчивости климатической системы Земли. Достаточно подробные сводки таких классификаций можно найти в работах [6; 9]. Пространственные неоднородности производятся под влиянием процессов, имеющих свои временные масштабы, что позволяет соотнести пространственные и временные масштабы. Эта задача имеет свои трудности, связанные с разницей пространственно-временных масштабов в атмосфере и океане [4; 16]. В Балтийском регионе этот вопрос изучался как в контексте процессов, имеющих короткий период, так и в контексте многолетних изменений [6; 12–15].

Цель настоящей работы — исследование временной изменчивости суточной компоненты гидрометеорологических элементов в Южной Балтике.

Суточный ход гидрометеорологических элементов, обусловленный вращением Земли и приводящий к суточному ходу солнечной радиации [11], а затем и к суточной изменчивости взаимодействия подстилающей поверхности и атмосферы [1], может отличаться для различных параметров.

Методика и материалы

Временной исходный ряд (ИР) складывается из короткопериодной (КП) (высокочастотной) и долгопериодной (ДП) (низкочастотной) изменчивости. КП состоит из нерегулярной внутрисуточной изменчивости (ВСИ), регулярного суточного хода (СХ)¹ и синоптической изменчивости (СИ). ДП складывается из нерегулярной внутригодовой изменчивости (ВГИ), регулярного сезонного хода (СезХ) и межгодовой изменчивости (МГИ) [6; 7]:

$$\text{ИР} = \text{КП} + \text{ДП} \quad (1)$$

$$\text{ИР} = \text{ВСИ} + \text{СХ} + \text{СИ} + \text{ВГИ} + \text{СезХ} + \text{МГИ} \quad (2)$$

При расчете внутригодовой изменчивости удельного вклада суточной составляющей принималась дисперсия за весь период наблюде-

¹ Следует иметь в виду, что СХ гидрометеозаэментов согласно [3; 9; 16] относится к синоптической изменчивости, а согласно [8; 10], как и в нашем случае, к мезомасштабной, т. е. $T = 1$ сутки, для нас — граница между мезомасштабной и синоптической компонентами.



ний. Для получения межгодовой изменчивости удельного вклада суточной компоненты расчет дисперсии выполнялся с нарастанием, а также пошагово:

$$\Delta\sigma^2_{CX_{ni+1}}(\%) = 100 (\sigma^2_{CX_{ni+1}} - \sigma^2_{CX_{ni}}) / \sigma^2_{IP_{ni+1}} \quad (3)$$

Для анализа временной изменчивости различных масштабов использовались данные натуральных наблюдений гидрологических (температура T_w и соленость S верхнего слоя моря) и метеорологических параметров (температура воздуха T_a , точка росы T_d (относительная влажность f), атмосферное давление на уровне моря P_0 и скорость ветра W) на станциях Аркона, Дарсский порог, Фемарн-Бельт и Киль (дискретность – один час), мониторинговой сети MARNET Немецкого центра океанографических данных (BSH/DOD(M41)) за 2002–2016 гг. (соглашение 2518/2016–075), а также T_a , T_d , P_0 и W , полученных автоматической гидрометеорологической станцией МиниКРАМС-4, установленной на нефтяной платформе D6, за 2004–2016 гг. (рис. 1).

Исходные ряды обрабатывались с использованием дисперсионного, гармонического и корреляционного методов анализа [2].

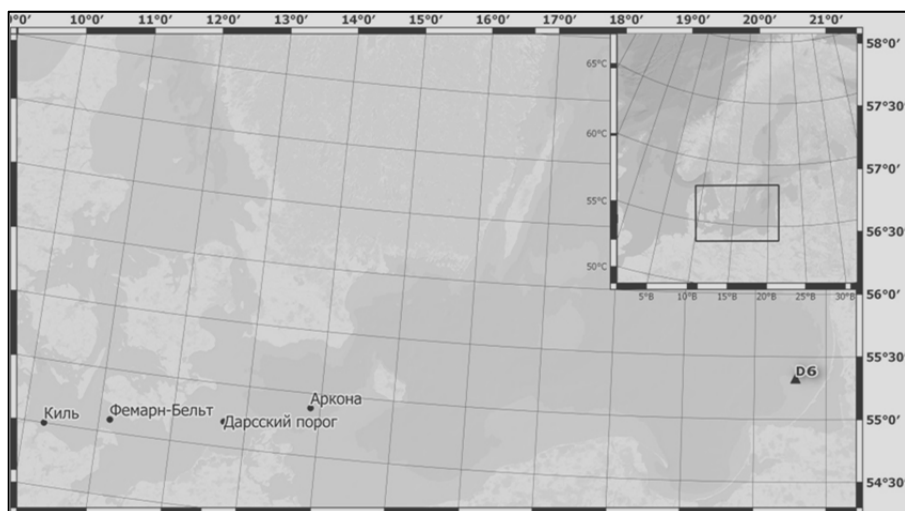


Рис. 1. Карта района исследований, расположение станций мониторинговой сети MARNET и МЛСП D6

Результаты

Данные наблюдений за T_w , S , T_a , T_d , f , W и P_0 в Южной Балтике с дискретностью один час позволяют в полной мере использовать предлагаемую модель временного ряда. Рассмотрим их структуру (табл. 1).

Структура временных рядов. Удельный вклад (относительная доля) дисперсии КП в дисперсию исходного ряда для T_w , T_a , T_d , за исклю-



чением f , составил $1 \div 19\%$, для динамических (W и P_0) – $72 \div 84\%$, для S (с признаками динамического [6]) – $11 \div 45\%$ (табл. 1). В то же время вклад ДП в общую был соответственно $81 \div 99\%$ (T_w , T_a , T_d); $11 \div 28\%$ (W и P_0) и $55 \div 89\%$ (S). Для относительной влажности вклады КП и ДП схожи с динамическими параметрами. Удельный вклад СХ для большинства параметров в общую дисперсию минимален ($\leq 0,5\%$), за исключением T_a ($1,2\%$) и f ($1,4 \div 9,7\%$) на станции Киль (табл. 1).

Максимальные вклады в дисперсию исходного ряда вносят СезХ для S в Киле (52%), для T_a и T_d ($72 \div 87\%$) и для T_w ($94 \div 97\%$) или СИ для W и P_0 ($49 \div 77\%$), для f ($38 \div 53\%$), а также для S в Фемарн-Бельт, Дарском пороге и Арконе ($30 \div 50\%$). Удельный вклад ВСИ для W ($26 \div 34\%$) и f ($20 \div 34\%$) или ВГИ для P_0 ($16 \div 24\%$) существенен для всех станций, кроме Арконы, где вклад ВГИ снижается до 7% .

Таблица 1

**Дисперсия (верхняя строка) и относительная доля (нижняя)
короткопериодной и долгопериодной изменчивости
метеорологических элементов в Южной Балтике
за 2002 – 2016 гг.**

Элемент (высота прибора, м)	Дисперсия (σ^2)						
	общая	короткопериодная			долгопериодная		
		ИР	СХ	ВСИ	СИ	СезХ	ВГИ
Киль (2012 – 2016)							
T_a , °С (31)	39,6	0,5	1,2	5,4	30,5	1,6	0,3
	100	1,2	3,1	13,7	77,1	4,1	0,8
f , % (31)	126,2	12,3	43,2	48,6	15,0	5,0	2,1
	100	9,7	34,2	38,5	11,9	4,0	1,7
W , м/с (34)	15,14	0,02	4,8	8,7	1,3	0,4	0,02
	100	0,12	31,4	57,2	8,3	2,8	0,14
P_0 , гПа	91,5	0,04	5,4	67,4	3,8	14,2	0,7
	100	0,04	5,9	73,6	4,2	15,5	0,8
T_w , °С (-1)	35,5	0,004	0,03	1,2	33,8	0,1	0,4
	100	0,01	0,1	3,3	95,2	0,3	1,1
S , PSU (-4)	6,9	0,00004	0,1	0,7	3,6	1,8	0,7
	100	0,0006	1,7	10,5	52,4	25,7	9,8
Фемарн-Бельт (2002 – 2013)							
T_a , °С (8)	40,2	0,2	0,8	1,4	33,1	1,5	3,2
	100	0,4	2,0	3,5	82,4	3,7	8,0
W , м/с (8)	11,8	0,01	3,6	6,3	0,8	0,7	0,4
	100	0,1	30,4	53,2	6,9	5,8	3,6
P_0 , гПа	100,9	0,05	5,9	66,6	3,4	24,0	1,0
	100	0,05	5,9	66,0	3,3	23,8	1,0
T_w , °С (-1)	34,7	0,007	0,06	0,5	32,7	1,3	0,2
	100	0,02	0,17	1,4	94,0	3,9	0,6
S , PSU (-6)	10,6	0,0003	0,4	4,3	1,4	2,7	1,7
	100	0,003	4,2	41,0	13,0	25,7	16,1



Элемент (высота прибора, м)	Дисперсия (σ^2)						
	общая	короткопериодная			долгопериодная		
	ИР	СХ	ВСИ	СИ	СезХ	ВГИ	МГИ
Дарский порог (2002 – 2016)							
T_{ar} , °C (9)	38,6	0,1	0,5	3,5	32,7	1,4	0,4
	100	0,3	1,4	9,0	84,7	3,5	1,1
f , % (9)	111,9	2,6	29,6	54,2	3,7	11,1	10,7
	100	2,3	26,5	48,4	3,3	9,9	9,6
W , м/с (9)	13,0	0,005	3,4	7,3	1,2	1,0	0,1
	100	0,04	26,0	56,4	9,3	7,7	0,6
P_0 , гПа	111,4	0,1	6,5	77,4	3,7	21,4	2,3
	100	0,05	5,9	69,5	3,3	19,2	2,0
T_{W} , °C (-2)	30,1	0,004	0,1	0,7	28,4	0,4	0,4
	100	0,01	0,4	2,4	94,6	1,2	1,4
S , PSU (-6)	2,4	0,00004	0,2	1,2	0,4	0,5	0,2
	100	0,002	6,6	49,9	14,5	20,6	8,3
Аркона (2003 – 2016)							
T_{ar} , °C (10)	39,7	0,1	0,5	3,0	34,6	0,3	1,2
	100	0,16	1,1	7,5	87,2	0,9	3,1
f , % (10)	100,8	1,4	20,3	53,3	4,5	9,3	12,0
	100	1,4	20,2	52,9	4,4	9,2	11,9
W , м/с (10)	13,8	0,005	3,7	7,7	1,4	0,2	0,8
	100	0,04	26,6	55,9	10,2	1,2	6,1
P_0 , гПа	100,4	0,04	6,1	77,2	8,2	7,0	1,9
	100	0,04	6,0	76,9	8,2	7,0	1,9
T_{W} , °C (-2)	32,8	0,002	0,05	0,2	31,7	0,06	0,8
	100	0,01	0,14	0,6	96,7	0,17	2,4
S , PSU (-2)	0,22	0,000	0,01	0,07	0,04	0,04	0,06
	100	0,0003	3,8	30,2	19,2	18,4	28,5
D6 (2004 – 2016)							
T_{ar} , °C (27)	57,4	0,1	1,2	7,8	44,9	3,0	0,4
	100	0,21	2,1	13,5	78,2	5,3	0,7
T_d , °C (27)	53,6	0,001	1,5	8,8	38,7	3,8	0,8
	100	0,001	2,9	16,4	72,2	7,1	1,4
W , м/с (32)	16,6	0,02	5,6	8,1	2,1	0,7	0,1
	100	0,14	33,6	48,9	12,5	4,5	0,4
P_0 , гПа	96,1	0,04	5,3	65,5	1,4	20,4	3,5
	100	0,04	5,5	68,3	1,4	21,2	3,6

Регулярный суточный ход. Представление о характере суточной изменчивости гидрометеорологических элементов в Южной Балтике дают рисунок 2 и таблица 2. Как видим, СХ меняется в зависимости как от типа метеоэлемента, так и от географического положения станции.

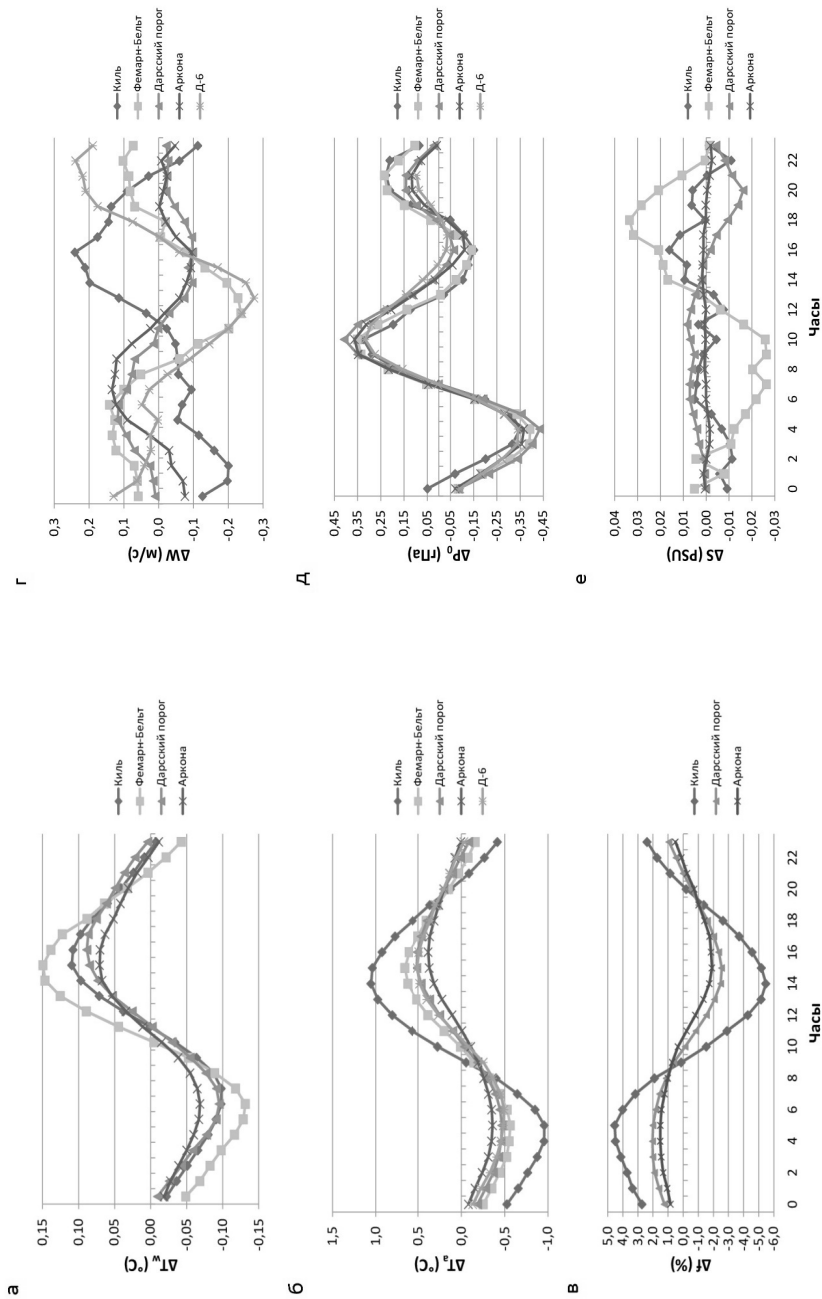


Рис. 2. Среденные за 2002 – 2016 гг. аномалии регулярного суточного хода гидрометеоэлементов в Южной Балтике:

$$a - T_w; б - T_a; в - t; г - W; д - P_a; е - S$$



**Гармонические постоянные гидрометеоэлементов в Южной Балтике
регулярного суточного хода (средние и предельные значения),
осредненные помесячно за 2002–2016 гг.**

Элемент (высота прибо- ра, м)	Гармоника						A _I /A _{II}	A ₀
	I (суточная волна)			II (полусуточная волна)				
	Амплитуда I	Фаза I	Квота I	Амплитуда II	Фаза II	Квота II		
Киль (2012–2016)								
T _a , °C (31)	0,97	-135,5	0,973	0,16	61,9	0,026	6,1	9,68
	1,60	-126,3	0,992	0,29	120,6	0,238	13,8	
	0,27	-152,5	0,745	0,10	29,7	0,005	1,8	
f, % (31)	4,79	47,9	0,965	0,90	-126,2	0,034	5,3	81,44
	8,22	55,0	0,991	1,72	-85,5	0,218	18,7	
	1,08	17,1	0,718	0,33	-166,6	0,003	1,8	
W, м/с (34)	0,17	-144,0	0,860	0,06	-63,7	0,101	2,9	8,22
	0,51	179,6	0,898	0,22	177,6	0,401	5,3	
	0,02	-171,9	0,012	0,05	-154,2	0,031	0,2	
P ₀ , гПа	0,08	-136,4	0,093	0,26	160,8	0,874	0,3	1011,5
	0,26	97,9	0,559	0,34	170,5	0,882	1,7	
	0,03	-163,3	0,007	0,15	153,5	0,199	0,1	
T _w , °C (-1)	0,10	-161,7	0,946	0,02	22,4	0,053	4,2	10,27
	0,25	105,5	0,985	0,05	48,2	0,685	19,4	
	0,002	-168,5	0,003	0,01	11,3	0,003	0,1	
S (PSU) (-4)	0,007	-130,7	0,397	0,005	-87,7	0,254	1,2	16,59
	0,043	161,9	0,779	0,054	165,4	0,519	10,8	
	0,006	-161,8	0,080	0,002	-173,7	0,004	0,4	
Фемарн-Бельт (2002–2013)								
T _a , °C (8)	0,56	-138,9	0,939	0,13	62,5	0,050	4,3	9,63
	0,93	-126,5	0,971	0,23	96,9	0,539	9,7	
	0,12	-157,9	0,401	0,05	43,2	0,010	0,9	
W, м/с (8)	0,14	77,5	0,671	0,09	-89,7	0,303	1,5	6,99
	0,41	175,6	0,863	0,19	-8,2	0,733	20,4	
	0,04	-153,7	0,036	0,01	-172,7	0,001	0,2	



Продолжение табл. 2

42

Элемент (высота прибора, м)	Гармоника						A _I /A _{II}	A ₀
	I (суточная волна)			II (полусуточная волна)				
	Амплитуда I	Фаза I	Квота I	Амплитуда II	Фаза II	Квота II		
P ₀ , гПа	0,13	-123,1	0,194	0,27	-178,7	0,770	0,5	1013,60
	0,28	53,8	0,506	0,36	179,0	0,909	2,1	
	0,04	-141,5	0,025	0,06	-179,3	0,044	0,2	
T _w , °C (-1)	0,12	-141,1	0,905	0,04	54,4	0,087	3,2	9,83
	0,33	14,6	0,969	0,07	80,5	0,641	7,3	
	0,01	-147,2	0,218	0,01	23,0	0,018	0,6	
S, PSU (-6)	0,02	180,0	0,816	0,01	-13,6	0,135	2,5	13,41
	0,08	173,6	0,808	0,05	61,1	0,662	6,9	
	0,02	-173,1	0,105	0,01	-157,6	0,016	0,4	
Дарский порог (2002 – 2016)								
T _a , °C (9)	0,48	-152,4	0,988	0,05	35,7	0,011	9,5	9,47
	0,81	-143,6	0,997	0,11	72,9	0,079	33,0	
	0,13	-172,3	0,878	0,02	-23,2	0,001	3,3	
f, % (9)	2,25	38,6	0,982	0,30	-155,6	0,017	7,5	85,16
	3,86	48,2	0,990	0,54	177,8	0,106	11,8	
	0,80	22,5	0,890	0,10	-171,5	0,007	2,9	
W, м/с (9)	0,09	14,7	0,900	0,03	-127,0	0,076	3,4	7,47
	0,22	86,8	0,857	0,12	132,7	0,691	3,8	
	0,02	-104,1	0,042	0,02	-160,8	0,043	0,3	
P ₀ , гПа	0,20	-114,6	0,394	0,25	160,4	0,595	0,8	1014,3
	0,36	-71,8	0,670	0,35	169,6	0,854	1,5	
	0,12	-168,7	0,126	0,16	147,8	0,298	0,4	
T _w , °C (-2)	0,09	-167,5	0,972	0,01	38,5	0,028	5,9	9,69
	0,22	170,6	0,983	0,04	144,2	0,496	69,2	
	0,01	-173,8	0,128	0,002	7,4	0,001	0,5	
S, PSU (-6)	0,009	-31,9	0,841	0,003	42,3	0,111	2,8	9,00
	0,056	130,6	0,956	0,02	103,2	0,373	7,0	
	0,01	-141,3	0,359	0,004	-125,6	0,019	1,0	



Элемент (высота прибора, м)	Гармоника						A _I /A _{II}	A ₀
	I (суточная волна)			II (полусуточная волна)				
	Амплитуда I	Фаза I	Квота I	Амплитуда II	Фаза II	Квота II		
Аркона (2003 – 2016)								
T _a , °C (10)	0,36	-162,6	0,988	0,03	28,0	0,009	10,6	9,08
	0,60	178,9	0,993	0,06	84,0	0,068	23,6	
	0,08	-175,5	0,882	0,01	-15,3	0,002	3,6	
f, % (10)	1,69	29,1	0,980	0,23	178,4	0,018	7,5	85,29
	2,93	39,3	0,975	0,47	171,7	0,141	8,2	
	0,32	7,0	0,641	0,13	-179,3	0,014	2,1	
W, м/с (10)	0,07	-15,5	0,531	0,07	-140,6	0,451	1,1	7,90
	0,21	29,4	0,872	0,16	57,6	0,918	6,4	
	0,02	-142,4	0,027	0,02	-167,9	0,002	0,2	
P ₀ , гПа	0,17	-104,2	0,336	0,23	160,2	0,652	0,7	1015,1
	0,31	177,7	0,638	0,30	178,2	0,700	1,4	
	0,09	-144,3	0,163	0,13	144,5	0,330	0,6	
T _w , °C (-2)	0,07	-157,7	0,961	0,01	35,9	0,037	5,1	9,86
	0,19	25,2	0,988	0,03	144,6	0,639	26,3	
	0,001	-168,6	0,003	0,01	15,5	0,001	0,1	
S, PSU (-2)	0,001	-103,1	0,432	0,0005	3,9	0,089	2,2	7,94
	0,013	176,3	0,954	0,006	148,3	0,393	10,6	
	0,002	-127,1	0,101	0,0002	-159,5	0,008	0,5	
D6 (2004 – 2016)								
T _a , °C (27)	0,48	-156,2	0,969	0,08	49,7	0,029	5,8	8,76
	0,75	165,6	0,992	0,17	90,3	0,366	12,5	
	0,07	-178,5	0,561	0,05	11,3	0,006	1,2	
T _d , °C (27)	0,02	147,6	0,539	0,02	104,4	0,243	1,5	5,39
	0,17	176,8	0,892	0,09	177,4	0,436	11,4	
	0,01	-175,6	0,015	0,01	-172,9	0,005	0,4	
W, м/с (32)	0,19	101,3	0,775	0,10	-141,7	0,215	1,9	7,83
	0,39	170,9	0,944	0,23	117,1	0,724	18,0	
	0,10	-97,6	0,208	0,02	-176,4	0,003	0,5	
P ₀ , гПа	0,18	-110,9	0,480	0,19	156,4	0,515	1,0	1014,15
	0,39	178,7	0,708	0,24	173,6	0,707	1,6	
	0,07	-124,4	0,125	0,15	133,5	0,273	0,4	

Примечание: сроки наблюдений указаны по Гринвичу.



Тепло- и влагофизические параметры. Наиболее правильной суточной изменчивостью, характеризующейся преобладанием суточной волны с большой устойчивостью, отличаются тепло- и влагофизические параметры (T_w , T_a , f), для среднесуточного СХ которых квота¹ суточной гармоникой $q_1 = 0,91 \div 0,99$. Для точки росы T_d на Д6 квота среднесуточной волны $q_1 = 0,54$.

Для среднесуточного СХ T_w вблизи поверхности Южной Балтики максимум наступает между 15 и 16 ч по Гринвичу, а минимум — между 6 и 7 ч; время роста — 9 ч, время падения — 15 ч; размах суточных колебаний меняется от $0,14^\circ\text{C}$ в Арконе до $0,28^\circ\text{C}$ в Фемарн-Бельте. Это соответствует общему ходу температуры воды и воздуха в различных точках Мирового океана [1; 5; 11].

Преобладание суточной волны в СХ T_w отмечается только в период с февраля по сентябрь (суточный максимум наблюдается от 14–15 ч в феврале-марте и сентябре, составляя 16–18 ч в июле). Наступление минимума происходит в 6–7 ч в феврале-марте и августе-сентябре, снижаясь к 4–5 ч в апреле-июле. С февраля по сентябрь продолжительность роста T_w в суточном ритме меньше, чем время падения, и только в июле они равны (табл. 2). Преобладание полусуточной волны в период с октября по январь обусловлено снижением влияния радиационного фактора в эту часть года. Сказывается турбулентный обмен теплом с нижележащими слоями [6].

СХ температуры воздуха T_a в исследуемом районе моря характеризуется преобладанием суточной волны с большой устойчивостью ($q_1 = 0,94 \div 0,99$). Для среднесуточного регулярного СХ T_a на всех станциях максимум приходится на 14–15 ч, минимум — на 5–6 ч, время роста — 9–10 ч, время падения — 14–15 ч; размах суточных колебаний для большинства станций составляет $0,7 \div 1,2^\circ\text{C}$, для станции Киль — 2°C (рис. 2, б). Преобладание суточной волны в СХ T_a сохраняется весь год (квота суточной гармоникой минимальна в ноябре-феврале — $q_1 = 0,56 \div 0,88$ и максимальна в июне — $q_1 = 0,97 \div 0,99$). Наступление максимума T_a в СХ большую часть года приходится на 14–16 ч, поднимаясь до 17 ч в декабре-январе на станции Дарский порог и до 18 ч в январе-феврале, ноябре на станции Аркона. Наступление минимума в январе-феврале приходится на 6–7 ч, к апрелю-июню отмечается в 3–4 ч и поднимается до 7–8 ч в ноябре-декабре. Время роста и время падения T_a в суточной ритмике не остаются постоянными: продолжительность роста в январе и октябре-декабре (Фемарн-Бельт), октябре-декабре (Киль) и декабре (D6) составляет 7 ч, увеличиваясь до 10 ч в феврале-августе (D6), до 11 ч в апреле (Киль) и до 12 ч в апреле-мае (Фемарн-Бельт), в апреле-июле (Дарский порог) и в феврале, апреле и июле (Аркона). Внутригодовая изменчивость размаха СХ убывает с запада на восток от Киля до Арконы, при этом сначала увеличивается с декабря по июль, от $0,7–0,2$ до $3,2–1,2^\circ\text{C}$, а затем снижается. На D6 размах СХ увеличивается от $0,2^\circ\text{C}$ в декабре до $1,5^\circ\text{C}$ в апреле-мае, а за-

¹ Квота (q) — вклад в общую дисперсию суточного или сезонного хода [6].



тем скачкообразно убывает до $0,2^{\circ}\text{C}$ в ноябре-декабре. Минимальные значения отношения амплитуд A_I/A_{II} отмечаются в ноябре, меняясь от 0,9 (Фемарн-Бельт) до $3,3 \div 3,4$ (Дарсский порог и Аркона), максимальные — в июне-июле от 9,7 (Фемарн-Бельт) до $12,5 \div 13,8$ (Киль и D6) и до $23,6 \div 33,0$ (Дарсский порог и Аркона).

Известно, что «суточный ход относительной влажности с достаточным приближением обратен суточному ходу температуры воздуха» [11, с. 207]. Это справедливо и для Южной Балтики (ср. рис. 2, б и 2, в). Время роста и время падения f в суточной ритмике не остается постоянным; продолжительность роста в январе-апреле, октябре и декабре (Киль), феврале и октябре (Дарсский порог) составляет 7–8 ч; составляет 9–10 ч в мае-июне, сентябре и ноябре (Киль), январе, марте, апреле (Дарсский порог), феврале, марте, мае, августе-октябре (Аркона); 11–12 ч в мае-сентябре и ноябре-декабре (Дарсский порог) и 13–14 ч в апреле, июне-июле и ноябре-декабре (Аркона) и в июле-августе на станции Киль. Внутригодовая изменчивость размаха СХ убывает с запада на восток от Киля до Арконы, при этом сначала увеличивается с декабря-января по июль, а затем уменьшается к декабрю-январю.

В среднемноголетнем СХ T_d на станции D6, в отличие от T_a , появляется заметная полусуточная составляющая (см. табл. 2). Максимум наступает между 22 и 23 ч по Гринвичу, а минимум — между 6 и 7 ч; время роста — 16 ч, время падения — 8 ч; размах суточных колебаний составляет $0,1^{\circ}\text{C}$. Преобладание суточной волны в СХ T_d отмечается большую часть года, и только в июне, августе и декабре вклад суточной гармоник уменьшается. Колебания амплитуды суточной волны внутри года невелики — $A_I = 0,01 \div 0,17^{\circ}\text{C}$, при этом разброс отношения амплитуд суточной и полусуточной гармоник (A_I/A_{II}) значителен: от 0,4 в июне до 11,4 в октябре.

Корреляционный анализ среднемноголетнего СХ тепло- и влагофизических параметров между станциями Южной Балтики выявил их достаточно высокую тесноту связи. Так, для T_w — $r = 0,94 \div 0,99$; для T_a — $r = 0,88 \div 0,99$ и f — $r = 0,93 \div 0,98$.

Динамические параметры. Принято считать, что в слое трения суточный ход скорости ветра над сушей достигает максимума около 14 ч, над морем — ночью [11]. Как следует из рисунка 2, г среднемноголетний СХ W в Южной Балтике характеризуется суточной волной, квота которой возрастает от $q_I = 0,53 \div 0,67$ (Аркона и Фемарн-Бельт) до $q_I = 0,86 \div 0,90$ (Киль и Дарсский порог) (см. табл. 2). При этом наступление экстремумов в СХ значительно варьируется от станции к станции. Так, на станциях Фемарн-Бельт, Дарсский порог и Аркона максимум наблюдается между 5 и 8 ч, на станции Киль — в 16 ч, на D6 — в 22 ч; а минимум — между 12 и 16 ч для всех станций, кроме Киля (между 1 и 2 ч). Таким образом, время роста на D6 составляет 9 ч, на станциях Киль и Дарсский порог — 14 ч, на станциях Аркона — 16 ч и Фемарн-Бельт — 18 ч. Преобладание суточной гармоник в СХ W на станциях Киль и D6 сохраняется 8 мес., на станциях Фемарн-Бельт и Дарсский порог — 7 мес. и на станции Аркона — 6 мес. и приходится, как правило, на теплую



часть года. При этом максимальная квота суточной гармоникой отмечается на станциях Фемарн-Бельт, Дарсский порог и D6 в мае, на станции Аркона в июне и на станции Киль в августе. Минимальная квота приходится на январь (именно тогда максимален вклад полусуточной волны) (Фемарн-Бельт), на февраль (Киль и D6), на август (Дарсский порог) и на октябрь (Аркона) (см. табл. 2).

Корреляционный анализ среднееголетнего СХ W показал высокую тесноту связи между парами станций: Дарсский порог – Аркона – $r = 0,78$ и Фемарн-Бельт – D6 – $r = 0,84$ и значимую тесноту связи между Фемарн-Бельтом и Дарским порогом – $r = 0,57$. Кроме того, была выявлена высокая обратная связь между станциями Киль и Дарсский порог ($r = -0,77$), значимая обратная связь между станциями Киль и Фемарн-Бельт ($r = -0,53$) и заметная отрицательная связь между станциями Киль и Аркона ($r = -0,37$) или Киль и D6 ($r = -0,31$).

Таким образом, и результаты корреляционного анализа подтверждают, что СХ W на станции Киль определяется большим влиянием суши.

Известно, что СХ атмосферного давления вблизи поверхности Земли характеризуется полусуточной гармоникой с двумя максимумами – около 9–10 и 21–22 ч по местному времени и двумя минимумами – утром и после полудня (около 3–4 и 15–16 ч). При этом размах суточных колебаний убывает от тропиков к полюсам от нескольких гПа до нескольких десятых [11]. Рисунок 2, д и таблица 2 подтверждают справедливость отмеченного выше и для Южной Балтики. Итак, среднееголетний СХ P_0 в регионе характеризуется полусуточной волной, квота которой меняется от $q_{II} = 0,51 \div 0,59$ (D6, Дарсский порог) до $q_{II} = 0,77 \div 0,87$ (Фемарн-Бельт, Киль), амплитуда от $A_{II} = 0,19$ (D6) до $A_{II} = 0,27$ гПа (Фемарн-Бельт). Утренние минимум и максимум наступают в 3–4 и 10 ч, а вечерние – в 16–17 ч и в 20–21 ч с размахом суточной изменчивости 0,7–0,8 гПа. Однако преобладание полусуточной гармоникой отмечается не круглый год: от 4–5 мес. (Дарсский порог и D6) до 9–10 мес. (Киль и Фемарн-Бельт). Наступление утреннего максимума для всех станций, кроме Килия, возрастает от 9 ч в январе до 11–12 ч к апрелю-июню, а затем от августа опускается к 9 ч в ноябре-декабре. Вечерний максимум на всех станциях большую часть года отмечается между 19–20 и 22 ч. Утренний минимум на всех станциях в январе наблюдается между 4 и 6 ч, опускаясь до 2–3 ч к маю-июню и поднимаясь от июля-августа до 5 ч к октябрю-декабрю. Вечерний минимум – в январе – отмечается между 12 и 14 ч, поднимаясь к маю-июлю до 17–18 ч, а затем опускаясь от июля-августа до 13 ч к ноябрю-декабрю. Амплитуда полугодовой волны достигает максимума для большинства станций в апреле, кроме станции Аркона с максимумом в сентябре. Минимум наблюдается между ноябрем и январем на всех станциях. Отношения амплитуд достигают максимума в декабре-феврале (Дарсский порог, Киль и Фемарн-Бельт), в июне (Аркона) или сентябре (D6), а минимума – в марте (Киль), январе (Фемарн-Бельт), в сентябре (Дарсский порог), октябре (Аркона) или декабре (D6) (см. табл. 2, с. 41–43).



Корреляционный анализ среднемноголетнего СХ P_0 между станциями показал высокую тесноту связи — $r = 0,87 \div 0,99$.

Соленость — элемент с признаками динамического параметра. Среднемноголетний СХ S поверхностного слоя Южной Балтики отличается сложностью и разнообразием (см. рис. 2, *e*, с. 40). Так, только на двух станциях СХ S характеризуется суточной волной: Фемарн-Бельте и Дарсском пороге. При этом наступление экстремумов в СХ на этих станциях противофазно: минимум наблюдается между 7 и 9 ч, максимум — в 18 ч, время роста составляет 9 ч (Фемарн-Бельт), максимум в 11 ч, минимум в 20 ч, время падения — 9 ч (Дарсский порог). На станции Киль СХ S определяется первыми тремя гармониками; наступление главных максимума и минимума наблюдается в 16 ч и между 22 и 2 ч, наступление вторичных максимума и минимума — в 6 ч и 12 ч, соответственно (см. табл. 2, с. 41–43). На станции Аркона СХ определяется первыми четырьмя гармониками (см. табл. 2); наступление главных максимума и минимума наблюдается в 16 ч и между 22 и 2 ч, вторичных максимума и минимума — в 6 ч и 12 ч соответственно.

Внутригодовая изменчивость СХ S на станциях Фемарн-Бельт и Дарсский порог большую часть года характеризуется суточной гармоникой. Так, на первой преобладание суточной волны отмечается 7 мес. (в июне, от августа по октябрь и с декабря по февраль); на второй — 11 мес. (за исключением апреля). Во внутригодовой изменчивости СХ на станции Киль преобладает суточная гармоника в марте, июле и декабре (см. табл. 2), а также полусуточная волна — в январе и октябре, в остальные месяцы преобладающую гармонику (из первых четырех) выделить затруднительно. Для внутригодовой изменчивости СХ на станции Аркона картина иная: большую часть года в СХ преобладает первая гармоника (см. табл. 2). Наступление максимума солености в СХ на всех станциях в основном приходится на вторую половину суток от 15 ч до 0 ч, а минимума — на ночные и утренние часы.

Корреляционный анализ среднемноголетнего СХ S поверхностного слоя Южной Балтики показал высокую обратную тесноту связи между станциями Фемарн-Бельт и Дарсский порог ($r = -0,76$); значимую тесноту связи между станциями Киль и Аркона ($r = 0,55$), заметную связь между станциями Киль и Фемарн-Бельт ($r = 0,39$) и Дарсский порог и Аркона ($r = 0,30$).

Таким образом, результаты корреляционного анализа среднемноголетнего СХ между станциями Южной Балтики, выявившие высокую тесноту связи для T_w , T_a и f (определяемого суточной волной), для P_0 (характеризуемого полусуточной волной), для W и S (определяемого суточной или суточной и полусуточной гармониками) также подтверждают зависимость структуры суточной изменчивости как от характера метеоэлемента, так и его географического положения.

Сезонная изменчивость удельного вклада суточного хода. Представление о характере внутригодовой изменчивости удельного вклада СХ гидрометеорологических элементов в Южной Балтике дает рисунок 3, из которого следует, что и СезХ удельного вклада суточной компоненты также меняется в зависимости от типа метеоэлемента и географического положения станции.

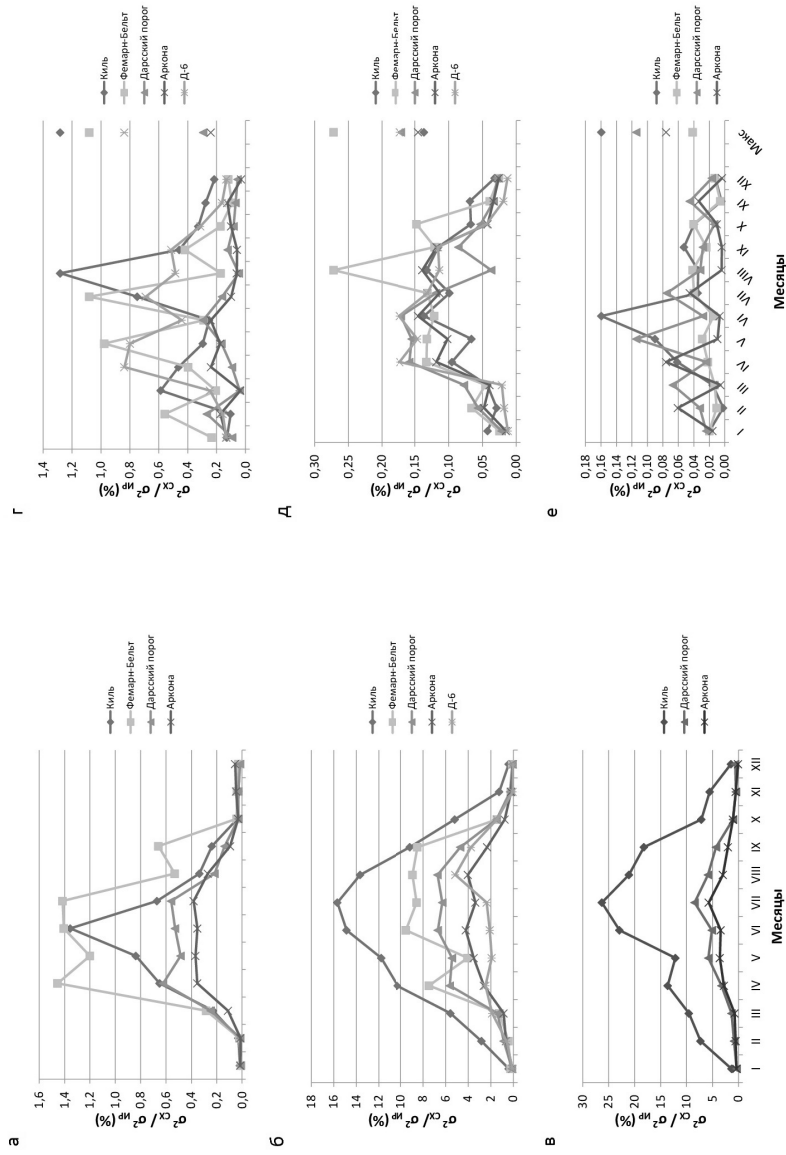


Рис. 3. Осредненная за 2002 – 2016 гг. внутригодовая изменчивость удельного вклада суточной составляющей гидрогеоэлементов в Южной Балтике:

$$a - T_{\text{вр}}; б - T_{\text{с}}; в - T_{\text{г}}; г - W; д - P_0; е - S$$



Тепло- и влагофизические параметры. Внутригодовая изменчивость удельного вклада СХ для этих метеоэлементов отличается подобием не только между станциями (теснота связи между ними высокая: $r = 0,88 - 0,97$), но и между элементами (рис. 3, а – 3, в). При этом для большинства станций T_w , T_a и f минимальный удельный вклад СХ отмечается в холодное время года (с октября по февраль-март) и составляет $0,01 \div 0,35\%$; максимальный вклад – с апреля-мая по август-сентябрь – $0,4 \div 9,5\%$; (рис. 3). Соотношение между величинами максимума и минимума в сезонной изменчивости СХ таково: для T_w от 30 (Аркона) до 214 крат (Фемарн-Бельт), для T_a от 76 (Дарсский порог) до 192 крат (D6) и для f от 24 (Дарсский порог) до 76 крат (Аркона). Для станции Киль характер сезонной изменчивости удельного вклада СХ несколько иной: минимальный удельный вклад наступает в декабре-январе; максимальный – в июне-июле; соотношение между величинами максимума и минимума (для $f - 20$, для $T_a - 39$ и для $T_w - 81$). Для T_d (D6): минимум – декабрь-январь, максимум – июль, соотношение – 23,8 крат.

Таким образом, для тепло- и влагофизических параметров подобие внутригодовой изменчивости удельного вклада суточной составляющей в Южной Балтике подтверждается результатами дисперсионного, гармонического и корреляционного анализа.

Динамические параметры. Для W и P_0 внутригодовая изменчивость удельного вклада СХ носит иной характер. На всех станциях минимальный удельный вклад СХ приходится на холодную половину года (октябрь-март), а максимальный – на теплую (между апрелем и августом для W или июнем и августом для P_0) (см. рис 3, з, д, с. 48). Так, теснота связи для W достаточно высока между парами станций Аркона и Дарсский порог ($r = 0,66$) или D6 и Фемарн-Бельт ($r = 0,65$); значима – между Дарским порогом и Фемарн-Бельтом ($r = 0,46$), или D6 и Арконой ($r = 0,40$), или D6 и Килем ($r = 0,38$); значимая обратная – между Арконой и Килем ($r = -0,37$) или Дарским порогом и Килем ($r = -0,38$). Для P_0 теснота связи высока между всеми парами ($r = 0,70 \div 0,93$), за исключением Дарского порога и Фемарн-Бельта ($r = 0,27$). Внутригодовая изменчивость удельного вклада СХ P_0 для всех станций определяется годовой гармоникой, в отличие от удельного вклада СХ W , для которого внутригодовая изменчивость, характеризуемая годовой волной, отмечается только на D6. На станциях Аркона, Фемарн-Бельт и Киль годовая гармоника хотя и преобладает, но ее вклад невелик, на станции Дарсский порог в сезонной изменчивости преобладает третья гармоника. Для P_0 на всех станциях минимальный удельный вклад СХ в сезонной изменчивости отмечается в январе-марте и составляет $0,01 \div 0,03\%$; максимальный – в июне или августе – $0,14 \div 0,17\%$ или $0,27\%$; соотношение между величинами максимума и минимума сезонной изменчивости СХ возрастает от 4,7 (Киль) до 14,1 крат (D6). Для W наступление экстремумов удельного вклада СХ в сезонной изменчивости меняется от месяца к месяцу: для станций Аркона и D6 минимум отмечается в декабре, максимум – в апреле; для станции Дарсский порог – минимум в марте, максимум – в июне; для станций Фемарн-Бельт и Киль – минимум в ноябре и феврале, максимум в июле и августе, а соотношение между экстремумами меняется от $6,4 \div 8,0$ крат (D6, Аркона и Дарсский порог) до $11,5 \div 12,5$ (Фемарн-Бельт и Киль).



Соленость – элемент с признаками динамического параметра. Внутригодовая изменчивость удельного вклада SX S несколько напоминает изменчивость W . Однако теснота связи для S между станциями практически отсутствует: $r = -0,20 \div 0,14$. Для удельного вклада SX солености внутригодовая изменчивость, характеризуемая годовой волной, отмечается только на станции Киль, на станциях Дарсский порог и Фемарн-Бельт годовая гармоника хотя и преобладает, но ее вклад невелик; а на станции Аркона в сезонной изменчивости преобладает четвертая (трехмесячная) гармоника (рис. 3, *e*, с. 48). Для S наступление экстремумов удельного вклада SX в сезонной изменчивости меняется от месяца к месяцу: для станций Дарсский порог и Фемарн-Бельт минимум отмечается в октябре и ноябре, максимум – в мае и июле-августе; для станций Аркона и Киль – минимум в декабре и феврале, максимум в апреле и июне. Соотношение между экстремумами меняется от $7,2 \div 8,5$ крат (Фемарн-Бельт и Дарсский порог) до $21,5 \div 79,1$ (Аркона и Киль).

Межгодовая изменчивость суточной составляющей. Прежде чем перейти к анализу межгодовой изменчивости SX , следует иметь в виду, что в случае недостаточной длины исследуемого ряда можно получить ошибочные выводы о ДП компонент временного ряда. В [6] анализ рядов гидрометеорологических элементов в различных регионах Балтийского моря показал, что возрастание доли основной составляющей с увеличением длины ряда справедливо только для первых 6–10 лет. Дальнейшее увеличение длины ряда приводит к затуханию колебаний относительно среднего значения для всех компонент соответствующего гидрометеорологического элемента. Расчет удельного вклада дисперсии (с нарастанием) суточной составляющей временной изменчивости гидрометеорологических элементов на станциях в Южной Балтике за 2002–2016 гг. показал, что для T_w , T_a и P_0 кривые удельного вклада SX стабилизируются относительно среднего значения на всех станциях через 6–8 лет; для f , W и S – через 8–10 лет.

Нагляднее процесс стабилизации удельного вклада SX гидрометеорологических элементов можно представить с помощью пошаговых разностей с нарастанием, нормированных на общую дисперсию (рис. 4). Так, пошаговые разности дисперсии суточной составляющей T_w на станциях Аркона и Киль несколько ниже, чем на станциях Дарсский порог и Фемарн-Бельт, а асимптотическое приближение к среднему наступает быстрее на станциях Аркона и Дарсский порог (рис. 4, *a*). Для T_a пошаговые разности дисперсии SX на Дб несколько ниже, чем на станциях Аркона и Дарсский порог или Фемарн-Бельт, а асимптотическое приближение к среднему на станциях Дб, Дарсский порог и Фемарн-Бельт несколько опережает T_a на станции Аркона (рис. 4, *b*). Для f пошаговые разности дисперсии на станции Аркона значительно ниже, чем на станции Дарсский порог, а асимптотическое приближение к среднему на этих станциях наступает практически одновременно (рис. 4, *b*). Для W пошаговые разности дисперсии на станции Аркона несколько ниже, чем на станции Фемарн-Бельт, и заметно ниже, чем на Дб или Дарском порог, а асимптотическое приближение к среднему на станциях Аркона, Дарсский порог и Фемарн-Бельт наступает практически одновременно (рис. 4, *c*).

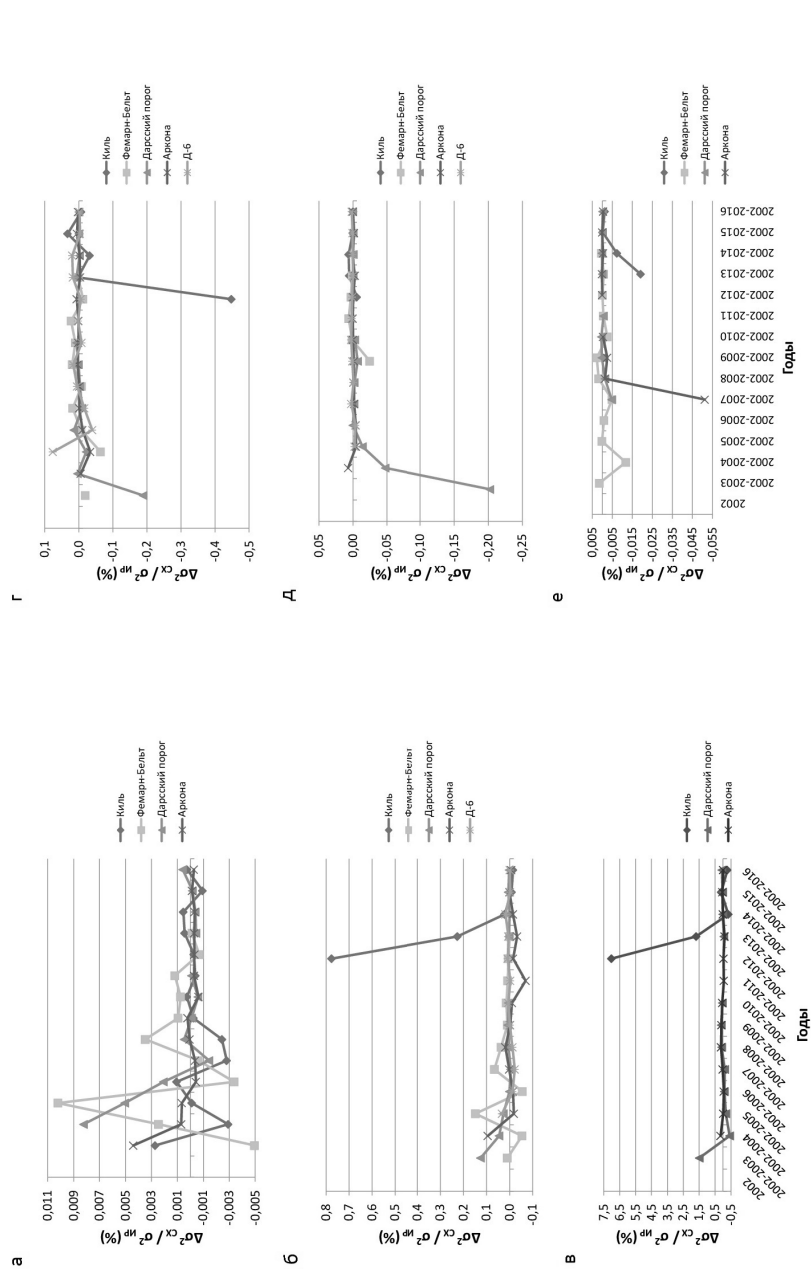


Рис. 4. Пошаговые разности относительной доли (с нарастающим) суточной составляющей временной изменчивости гидрометеороэлементов в Южной Балтике за 2002–2016 гг.:

$a - T_w; b - T_a; c - t; d - W; e - P_{\psi}; f - S$



Для P_0 пошаговые разности дисперсии на Д6 несколько ниже, чем на станциях Аркона и Дарский порог, а асимптотическое приближение к среднему на Д6, Арконе и Дарском пороге наступает практически одновременно (рис. 4, *д*). Для S пошаговые разности дисперсии SX на станции Дарский порог ниже, чем на станциях Фемарн-Бельт и Аркона, а асимптотическое приближение к среднему, на станциях Аркона и Дарский порог наступает быстрее (рис. 4, *е*).

Таким образом, подтверждается вывод о зависимости суточной составляющей гидрометеоэлементов в Южной Балтике от местоположения станции (размах пошаговых разностей для большинства элементов возрастает от станций Аркона или Д6 к станциям Дарский порог или Фемарн-Бельт) и характера гидрометеоэлемента (на станции Дарский порог пошаговые разности SX убывают от элемента к элементу в следующем порядке: f, W, P_0, T_a, T_w и S).

Выводы

Проведенный анализ структуры временных рядов T_w, T_a, T_d, f, W, P_0 и S в Южной Балтике показал следующее:

1. Структура временных рядов (в том числе и суточная составляющая) для гидрометеорологических элементов зависит как от местоположения, так и от характера самого метеоэлемента.
2. Устойчивость регулярного суточного хода гидрометеоэлементов в дисперсию ИР подтверждается результатами гармонического анализа.
3. Результаты корреляционного анализа среднесезонного SX между станциями Южной Балтики, выявившие высокую тесноту связи для T_w, T_a и f (определяемого суточной волной), для P_0 (характеризуемого полусуточной волной), для W и S (определяемого суточной или суточной и полусуточной гармониками), также подтверждают зависимость структуры суточной изменчивости как от характера метеоэлемента, так и его географического положения.
4. Максимальный вклад внутригодовой изменчивости суточной составляющей для тепло- и влагофизических гидрометеоэлементов в Южной Балтике отличается подобием не только между станциями для гидрометэлемента, но и между элементами. При этом для большинства станций T_w, T_a и f минимальный удельный вклад SX отмечается в холодное время года (с октября по февраль-март); максимальный вклад — с апреля-мая по август-сентябрь.
5. Подтвержден вывод о затухании колебаний относительно среднего значения не только для основной составляющей, но и для всех остальных компонент гидрометеорологического элемента при увеличении длины ряда. При этом и межгодовая изменчивость суточной составляющей гидрометеоэлементов в Южной Балтике зависит как от местоположения, так и от характера самого гидрометеоэлемента.

**Благодарности.**

Авторы благодарят ООО «ЛУКОЙЛ-КМН» за предоставление для анализа данных в районе МЛСП D6 и Немецкий центр океанографических данных (BSH/DOD(M42) за гидрометеороинформацию мониторинговой сети MARNET за 2002 – 2016 гг. (соглашение 2518/2014-002 и 2518/2016-075).

Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН (тема №0149-2018-0012).

Список литературы

1. *Абрамов Р. В.* Суточный ход метеорологических параметров приводного слоя воздуха на экваторе // Тр. межведомственной экспедиции ТРОПЭКС-74. Т. 1: Атмосфера. Л., 1976. С. 437 – 448.

2. *Брукс К., Карузерт Н.* Применение статистических методов в метеорологии. Л., 1963.

3. *Гулев С. К., Колинко А. В., Лаппо С. С.* Синоптическое взаимодействие океана и атмосферы в средних широтах. СПб., 1994.

4. *Дийкстра Х.* Нелинейная физическая океанография. М.; Ижевск, 2007.

5. *Дитрих Г.* Общая океанография. М., 1962.

6. *Дубравин В. Ф.* Эволюции гидрометеорологических полей в Балтийском море. Калининград, 2014.

7. *Дубравин В. Ф., Стонт Ж. И.* Изменчивость гидрометеорологических полей над Юго-Восточной Балтикой в 2004 – 2011 гг. // Известия РГО. 2012. Т. 144, вып. 5. С. 37 – 48.

8. *Каменкович В. М., Кошляков М. Н., Монин А. С.* Синоптические вихри в океане. Л., 1982.

9. *Лаппо С. С., Гулев С. К., Рождественский А. Е.* Крупномасштабное тепловое взаимодействие в системе «океан-атмосфера» и энергоактивные области Мирового океана. Л., 1990.

10. *Монин А. С.* Прогноз погоды как задача физики. М., 1969.

11. *Хромов С. П.* Метеорология и климатология для географических факультетов. Л., 1968.

12. *Jakobson E., Keernik H., Luhamaa A., Ohvri H.* Diurnal variability of water vapour in the Baltic Sea region according to NCEP-CFSR and Balt An65+reanalysis // Oceanologia. 2014. Vol. 56, iss. 2. P. 191–204.

13. *Karagali I., Hyer J. L.* Observations and modeling of the diurnal SST cycle in the North and Baltic Seas // J. Geophys. Res. Oceans. 2013. № 118. P. 4488 – 4503.

14. *Lepranta M., Myrberg K.* Physical oceanography of the Baltic Sea. Springer, 2009.

15. *Mingelaite T., Rukseniene V., Dailidiene I.* Long and Short Term Variability of the Main Physical Parameters in the Coastal Area of the SE Baltic Proper. // EGU General Assembly 2015. held 12 – 17 April. 2015 in Vienna, Austria. Vienna, 2015.

16. *Woods J. D.* Do waves limit turbulent diffusion in the ocean? // Nature. 1980. Vol. 288, № 5788. P. 219 – 224.



Об авторах

Владимир Филиппович Дубравин — д-р геогр. наук, ведущий науч. сотр. лаборатории геоэкологии, Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Россия.
E-mail: v_dubravin@mail.ru

Мария Владимировна Капустина — мл. науч. сотр. лаборатории геоэкологии, Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Россия.
E-mail: kapustina.mariya@ya.ru

Жанна Ивановна Стонт — канд. геогр. наук, ст. науч. сотр. лаборатории геоэкологии, Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Россия.
E-mail: ocean_stont@mail.ru

The authors

Prof. Vladimir F. Dubravin, Leading Research Fellow, Laboratory of Geoecology, P. P. Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Russia.
E-mail: v_dubravin@mail.ru

Maria V. Kapustina, Junior Research Fellow, Laboratory of Geoecology, P. P. Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Russia.
E-mail: kapustina.mariya@ya.ru

Dr Zhanna I. Stont, Senior Research Fellow, Laboratory of Geoecology, P. P. Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Russia.
E-mail: ocean_stont@mail.ru