

СИНОПТИЧЕСКАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ НАД ЮЖНОЙ ЧАСТЬЮ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ

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

*Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН,
Россия, Москва, 117997, Нахимовский проспект, д. 36,
e-mail: v_dubravин@mail.ru; kapustina.mariya@ya.ru; ocean_stont@mail.ru*

На базе данных натурных наблюдений за температурой воздуха T_a , относительной влажностью f (температурой точки росы T_d или упругостью водяного пара e_a), атмосферным давлением на уровне моря P_0 и скоростью ветра W на станциях Аркона, Дарсский порог и Фемарн-Бельт мониторинговой сети MARNET Немецкого центра океанографических данных за 2002–2020 годы с дискретностью 1 ч, а также на морской ледостойкой стационарной платформе ООО «ЛУКОЙЛ – Калининградморнефть» (D6) за 2004–2020 годы с дискретностью 1 ч, получены оценки вкладов короткопериодной (состоящей из нерегулярной внутрисуточной, регулярного суточного хода, синоптической компонент) и долгопериодной (состоящей из нерегулярной внутригодовой, регулярного сезонного хода и межгодовой компонент) изменчивостей в суммарную временную изменчивость исходного ряда этих метеорологических элементов. Показано влияние местоположения станции и характера самого метеоземента на структуры временных рядов метеорологических элементов в южной части Балтики. Это подтверждает состоятельность вывода, полученного многими исследователями временной изменчивости гидрометеопараметров для различных широтных зон и районов Мирового океана. При этом относительный (удельный) вклад синоптической изменчивости (СИ) для W , P_0 и f является преобладающим для всего исходного ряда (47.6÷76.1 %), а для T_a , T_d и e_a только для короткопериодной изменчивости (8.1÷17.7 %). Рассмотрены внутригодовая и межгодовая изменчивости удельного вклада синоптической компоненты T_a , T_d , f , e_a , P_0 и W . Так, максимальный вклад внутригодовой изменчивости СИ приурочен к сентябрю–ноябрю, а минимальный – отмечен в январе–феврале. Годовой размах вклада внутригодовой изменчивости СИ для большинства станций меняется от 12–38 % для W и P_0 до 36–38 % для T_a .

Ключевые слова: короткопериодная и долгопериодная изменчивости, температура воздуха, температура точки росы, относительная влажность, упругость водяного пара, скорость ветра, атмосферное давление, дисперсионный и корреляционный анализы, Балтийское море

Введение

Распределение свойств, параметров и характеристик атмосферы и Мирового океана неоднородно ввиду протекающих в этих средах физических процессов. Возникающие неоднородности могут меняться в широком пространственном (Каменкович, Кошляков, Монин, 1982; Озмидов, 1965) и временном (Груза, Ранькова, 1980; Монин, 1969; Монин, Каменкович, Корт, 1974) диапазонах: от мелкомасштабных до крупномасштабных.

Пространственные неоднородности имеют определенные «времена жизни», обусловленные периодами производящих эти неоднородности процессов. В ряде работ предлагается соответствие пространственных масштабов временным (Каменкович, Кошляков, Монин, 1982; Woods, 1980), но стоит учитывать, что эти масштабы в атмосфере и океане различны (Дийкстра, 2007; Мамаев, 1995; Woods, 1980). Поэтому в (Гулев, Колинко, Лаппо, 1994; Лаппо, Гулев, Рождественский, 1990) предложены пространственно-временные масштабы взаимодействия океана и атмосферы (от мелкомасштабного до климатического) (Дубравин, 2014).

Эти масштабы были использованы в ряде исследований Балтийского моря (Гусев и др., 2007; Захарчук, Тихонова, 2013; Hargen, Feistel, 2007; MacKenzie, Schiedek, 2007; Soomere, Raamet, 2011).

Следует отметить различия диапазона синоптической изменчивости по оценкам разных авторов. Так, в работах (Груза, Ранькова, 1980; Гулев, Колинко, Лаппо, 1994; Woods, 1980) за начало диапазона принимается 3 ч, однако конец диапазона у этих авторов различный – 12, 60 и 72 сут., соответственно. У других исследователей (Каменкович, Кошляков, Монин, 1982; Монин, 1969; Монин, Каменкович, Корт, 1974), хотя граница между мезомасштабной и синоптической составляющей (т. е. начало синоптического диапазона) проходит через 1 сут., но конец диапазона также не одинаков – до 30, 116 и 200 сут., соответственно.

Однако общеизвестно существование энергетического максимума в диапазоне периодов 10^4 – 10^6 с (от 3 ч до 12 сут.) (Гулев, Колинко, Лаппо, 1994; Дубравин, 2014; Изменчивость физических ..., 1983).

Балтийское море относится к регионам с хорошим освещением данными гидрометеорологических наблюдений, позволяющими, однако, произвести оценку вкладов только в разных масштабах долгопериодной изменчивости гидрометеорологических параметров (Дубравин, 2014). Данные наблюдений в Балтике и в атмосфере над ней, позволяющие произвести оценки вкладов составляющих коротко- и долгопериодной изменчивостей гидрометеорологических элементов (параметров), появились в начале нынешнего столетия. Однако такие данные наблюдений относятся только к южной части моря. Именно этим и определяется новизна представленного исследования.

Целью настоящей работы является исследование сезонной и межгодовой временной изменчивости синоптической компоненты метеорологических элементов над южной частью Балтики. При этом следует помнить, что синоптическое взаимодействие – это далеко не элементарный процесс, поскольку оно весьма регионально и связано с конкретными типами изменчивости, характерными для различных широтных зон и районов Мирового океана (Абрамов, Гушин, 1977; Бышев, 2003; Бышев, Иванов, 1969; Гулев, Колинко, Лаппо, 1994). Поэтому, в зависимости от характера метеопараметра и региона, масштаб изменчивости будет различным. Это касается и Балтийского моря.

Методы и материалы

В настоящей работе использована адаптированная модель временного ряда, основанная на моделях С. К. Гулева (Лаппо, Гулев, Рождественский, 1990; Гулев, Колинко, Лаппо, 1994), состоящая из нерегулярной внутрисуточной (ВСИ), регулярно-суточного хода (СХ), синоптической (СИ) (компоненты короткопериодной (КП))¹ и нерегулярной внутригодовой (ВГИ), регулярного сезонного хода (СезХ), межгодовой (МГИ) (компоненты долгопериодной (ДП))² изменчивостей в суммарную временную изменчивость исходного ряда (ИР) гидрометеорологического параметра, и подробно описанная в (Дубравин, 2014, 2017; Дубравин, Стонт, 2012; Дубравин, Капустина, Стонт, 2019; Dubravin, Stont, Goushchin, 2010).

Вкратце методика расчета такова: после сглаживания ИР скользящим месячным осреднением получаем ряд ДП и производим оценку компонент в рамках модели (Лаппо, Гулев, Рождественский, 1990), СезХ получается из многолетнего ряда ДП после осреднения значений для каждого месяца за все годы, МГИ – из многолетнего ряда после осреднения за каждый год, ВГИ – как остаточная. Сглаживание ИР с периодом сутки дает возможность получить реализацию СИ как разность дисперсий междусуточной и межмесячной, осреднение ИР за каждый час – СХ, после чего составляющая ВСИ получается как остаточная.

Диапазон синоптической изменчивости в используемой модели составляет от 1 до 60 сут.

При расчете внутригодовой изменчивости удельного вклада синоптической составляющей использовалась дисперсия за весь период наблюдений. Для получения межгодовой изменчивости удельного вклада синоптической компоненты расчет дисперсии выполнялся с нарастанием, а также пошагово:

$$\Delta\sigma_{СИ\ ni+1}^2 (\%) = 100 \cdot (\sigma_{СИ\ ni+1}^2 - \sigma_{СИ\ ni}^2) / \sigma_{ИР\ ni+1}^2.$$

Для анализа временной изменчивости в работе использовались данные натурных наблюдений температуры воздуха T_a (°С), относительной влажности f (%), упругости водяного пара e_a (гПа), атмосферного давления на уровне моря P_0 (гПа) и скорости ветра W (м/с) (дискретность 1 ч), предоставленные Немецким центром океанографических данных на станциях Фемарн-Бельт (Fehmarn Belt), Дарсский порог (Darss Sill) и Аркона (Arkona Basin) мониторинговой сети MARNET за 2002–2020 гг.³ (рисунок 1).

¹ В (Абрамов, 1982) предлагается модель для оценки вкладов компонент короткопериодной изменчивости – суточных, синоптических и «случайных» изменений.

² В (Абрамов, 1988) рассматривается модель для оценки вкладов компонент долгопериодной изменчивости – годового хода, многолетних изменений и «случайных» изменений.

³ Следует иметь в виду, что в рядах наблюдений на станциях мониторинговой сети имеются пропуски по всем элементам: Фемарн-Бельт – за 2014–2016 гг. (для W еще за 2004 и 2018 гг., а для P_0 еще за 2002–2007 гг.); Дарсский порог – за 2012 г.; Аркона – за 2017–2018 гг.

Ряды наблюдений были дополнены ежечасными метеоданными автоматической гидрометеорологической станции, установленной на высоте 32 м на морской платформе (D6). На ней выполнялись наблюдения за теми же элементами (T_a , P_0 , W), но вместо относительной влажности f (%) определялась температура точки росы T_d (°C) (Dubravín et al., 2010). Период наблюдений – 2004–2020 гг. (см. рисунок 1).

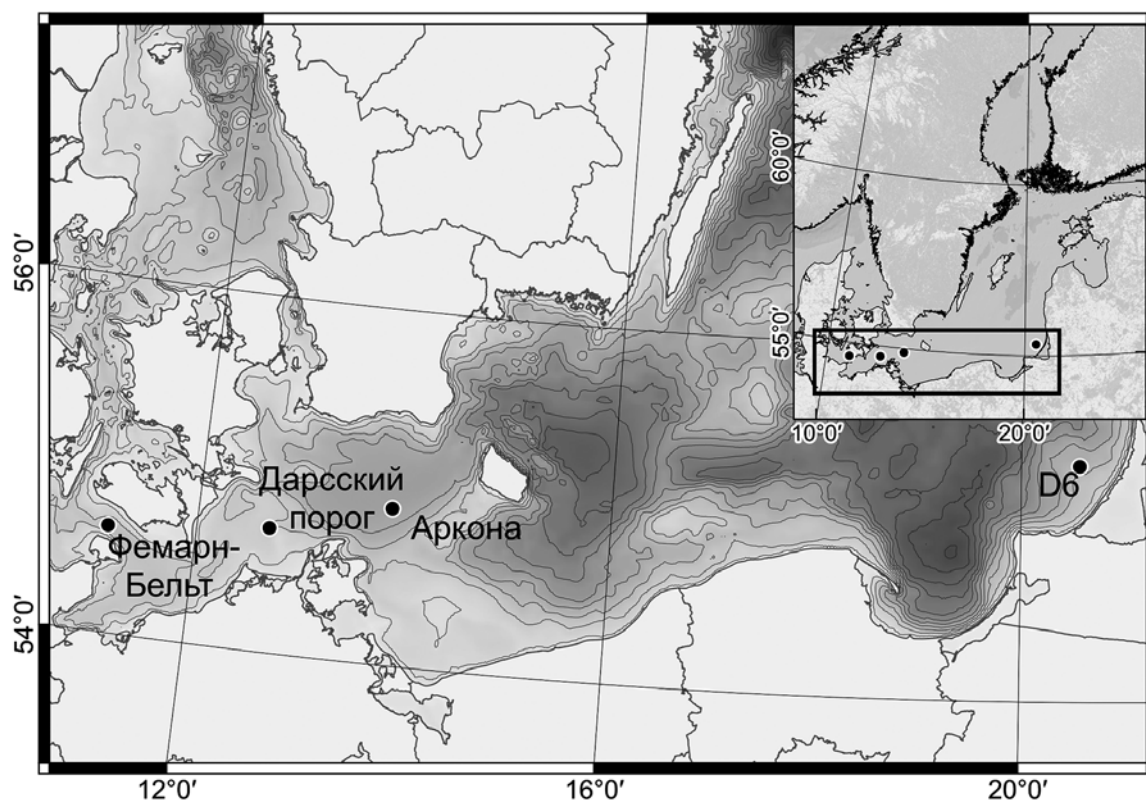


Рис. 1 – Район исследований, расположение станций мониторинговой сети MARNET и морской ледостойкой стационарной платформы D6

Для статистической обработки исходных метеоданных использовались дисперсионный и корреляционный анализы (Брукс, Карузерс, 1963).

У читателя может возникнуть вопрос: почему для анализа выбраны только четыре станции в акватории южной части Балтики, когда имеется еще несколько десятков береговых гидрометеорологических станций в этом регионе? Ответ достаточно прост.

Использование в анализе обозначенных выше четырех станций в акватории южной части Балтики обусловлено следующим: с одной стороны, известно (Хромов, 1968), что стандартные наблюдения на гидрометеостанциях выполняются с дискретностью 3 ч (климатические сроки), реже с дискретностью 6 ч (синоптические), а это должно вносить погрешность в величину удельного вклада компонент временного ряда. Так, в (Дубравин, Стонт, 2012), показано, что на морской стационарной платформе D6 на интервале 2004–2011 гг. увеличение дискретности от 1 до 3 ч привело к уменьшению

удельного вклада дисперсии короткопериодных компонент: для T_a в диапазоне ВСИ – на 2.5 %; для T_d в диапазоне СХ – на 23 %; для W в диапазоне СХ – на 11 % (а также к увеличению в диапазоне МГИ – на 19 %); для P_0 в диапазоне ВСИ – на 26 % (а также к увеличению в диапазоне СХ – на 6.8 %); а увеличение дискретности от 1 до 6 ч привело к уменьшению удельного вклада дисперсии короткопериодных компонент: для T_a в диапазоне ВГИ – на 24 %; для T_d в диапазоне СХ – на 42 %; для W в диапазоне СХ – на 10 (а также к увеличению в диапазонах МГИ – на 41 %); для P_0 в диапазоне ВСИ – на 25 % (а также к увеличению в диапазоне СХ – на 23 %).

С другой стороны, многими исследователями временной изменчивости гидрометеопараметров для различных широтных зон и районов Мирового океана показано, что временная структура гидрометеорологических полей зависит не только от характера самого метеоэлемента, но и от местоположения точки измерения (Лаппо, Гулев, Рождественский, 1990; Гулев, Колинко, Лаппо, 1994; Бышев, 2003; Дубравин, 2014). Так, в (Дубравин, Стонт, 2012), где проведено сравнение структуры временных рядов метеоэлементов на платформе Дб и на гидрометеостанциях Висбю, Леба, Лиепая, Калининград и Клайпеда (дискретность 3 ч; 2006–2011 гг.), например, показано, что удельный вклад СХ с приближением к побережью возрастает в несколько раз для T_a , T_d и W , в то время как для P_0 отмечается очень слабый рост или падение.

Таким образом, для корректного представления о вкладах компонент короткопериодной (СХ, ВСИ и СИ) и долгопериодной (ВГИ, СезХ и МГИ) изменчивостей метеорологических элементов над акваторией Балтийского моря важно использовать данные наблюдений на морских станциях с дискретностью 1 ч, а такие данные в нашем распоряжении имеются только для четырех станций, расположенных в южной части Балтики.

Результаты

Результаты дисперсионного анализа долей КП и ДП метеоэлементов в южной части Балтики за 2002–2020 гг. с дискретностью 1 ч показаны в таблице 1. Как видим, удельный вклад (относительная доля) дисперсии короткопериодной составляющей в общую дисперсию ИР для тепло- и влагофизических параметров (T_a , T_d , e_a), за исключением относительной влажности, составил 3÷21 %, а для динамических (W и P_0) значительно возрос до 73÷84 %. В то же время вклад долгопериодной изменчивости в общую был почти в 3.5 раза выше для T_a , T_d и e_a (79–97 %), чем для динамических параметров W и P_0 (16÷27 %).

Для относительной влажности вклады КП (76÷81 %) и ДП (19÷24 %) схожи с динамическими параметрами. При этом удельный вклад СХ как у тепло- и влагофизических, так и у динамических параметров в общую дисперсию минимален (~0.001÷0.6 %) и только для f – СХ возрастает до 2.5 %. Наибольшие вклады в дисперсию исходного ряда вносят СезХ для T_a , T_d и e_a (71÷85 %) и СИ для W и P_0 (48÷76 %), а также СИ для f (близка к 50 %).

Таблица 1 – Дисперсия и относительная доля короткопериодной (регулярного суточного хода, нерегулярной внутрисуточной и синоптической составляющих) и долгопериодной (регулярного сезонного хода, нерегулярной внутригодовой и межгодовой) изменчивостей метеозаэментов в южной части Балтики (2002–2020 гг.) (ежечасные наблюдения)

Элемент (высота прибора, м)	Дисперсия (σ^2)						
	общая	короткопериодная			долгопериодная		
		ИР	СХ	ВСИ	СИ	СезХ	ВГИ
Фемарн-Бельт (2002–2020)							
T_a (°C)	39.02	0.23	0.88	0.15	33.34	2.02	2.40
(8 м)	100	0.60	2.26	0.38	85.45	5.17	6.14
W (м/с)	12.60	0.02	3.83	6.00	0.73	0.62	1.40
(8 м)	100	0.15	30.43	47.57	5.79	4.93	11.13
P_0 (гПа) ¹	103.56	0.04	6.14	74.48	4.06	17.08	1.76
	100	0.04	5.93	71.92	3.92	16.49	1.70
Дарский порог (2002–2020)							
T_a (°C)	38.01	0.12	0.56	3.22	32.26	1.32	0.53
(9 м)	100	0.31	1.46	8.48	84.87	3.47	1.41
f (%)	111.65	2.77	30.17	57.29	3.31	8.90	9.21
(9 м)	100	2.48	27.02	51.31	2.96	7.98	8.25
W (м/с)	13.09	0.004	3.53	7.52	1.19	0.76	0.09
(9 м)	100	0.03	27.00	57.42	9.08	5.81	0.66
P_0 (гПа)	115.55	0.05	6.65	77.68	2.34	25.55	3.28
	100	0.04	5.76	67.22	2.03	22.11	2.84
Аркона (2002–2020)							
T_a (°C)	40.65	0.06	0.44	3.31	34.46	0.57	1.81
(10 м)	100	0.16	1.09	8.14	84.80	1.36	4.45
f (%)	110.12	1.28	27.65	54.62	4.82	5.90	15.85
(10 м)	100	1.16	25.11	49.60	4.38	5.36	14.39
e_a (гПа)	22.64	0.003	0.63	3.25	16.90	0.37	1.09
(10 м)	100	0.01	2.83	14.63	75.98	1.67	4.88
W (м/с)	13.63	0.005	3.59	7.42	1.40	0.95	0.26
(10 м)	100	0.04	26.36	54.46	10.24	7.00	1.90
P_0 (гПа)	99.23	0.05	5.72	75.53	1.19	15.52	1.22
	100	0.05	5.77	76.12	1.20	15.64	1.22
D6 (2004–2020)							
T_a (°C)	55.86	0.13	1.19	7.48	43.71	2.93	0.42
(32 м)	100	0.23	2.13	13.39	78.25	5.25	0.75
T_d (°C) ²	53.29	0.001	1.64	9.26	37.21	3.47	0.71
(32 м)	100	0.001	3.13	17.72	71.16	6.63	1.36
W (м/с)	16.53	0.02	5.59	7.99	2.11	0.73	0.09
(32 м)	100	0.14	33.81	48.32	12.76	4.44	0.53
P_0 (гПа)	96.24	0.03	5.48	66.90	1.11	19.17	3.55
	100	0.03	5.69	69.52	1.16	19.92	3.68

Примечание: ¹ для P_0 данные наблюдений с 2008 г.; ² для T_d данные наблюдений с 2006 г.

Следует отметить существенный удельный вклад ВСИ для W (26÷34 %) и f (25÷27 %) или ВГИ для P_0 (16÷22 %). Таким образом, удельный вклад синоптической изменчивости для динамических параметров (W и P_0) и относительной влажности (f) является преобладающим для всего ИР (до 76 %), для тепло- и влагофизических (T_a , T_d , e_a) только для КП (8÷18 %), для всех станций, кроме Фемарн-Бельт, где для T_a вклад СИ снижается до 0.4 %.

Обсуждение результатов

Внутригодовая изменчивость синоптической составляющей

Характер внутригодовой изменчивости СИ меняется не только между метеоэлементами, но и в пределах южной части Балтики. Можно говорить о подобии внутригодовой изменчивости СИ для T_a на ст. Д6 и Аркона или Дарсский порог (теснота связи между ними высока – $r = 0.75$ или $r = 0.80$). Между станциями Аркона и Дарсский порог теснота связи уменьшается до $r = 0.54$ (средняя), а между остальными станциями – до $r = 0.04$ ÷ 0.38 (очень слабая или слабая). Подобие внутригодовой изменчивости СИ отмечается и для f между станциями Аркона и Дарсский порог ($r = 0.73$). Подобие внутригодовой изменчивости СИ для P_0 отмечается между Д6 и Арконой – ($r = 0.53$), между Д6 и станциями Фемарн-Бельт или Дарсский порог теснота связи ослабевает ($r = 0.41$ ÷ 0.42), и между остальными станциями теснота связи становится малозначимой ($r = (-0.20)$ ÷ 0.24). О подобии внутригодовой изменчивости СИ для W между станциями говорить не приходится – теснота связи в основном невысока ($r = (-0.39)$ ÷ 0.30), за исключением связи между станциями Фемарн-Бельт и Дарсский порог, где она возрастает до ($r = 0.45$).

Внутригодовая изменчивость удельного вклада СИ тепло- и влагофизических параметров (T_a , T_d , f , e_a) на всех станциях характеризуется максимумом в ноябре (62–83 %) и минимумом в декабре–марте (6–48 %) (таблица 2, рисунок 2а). Исключение составляет ст. Аркона, где для f минимум наступает в апреле (37 %). Вторичный максимум на большинстве станций наступает в апреле–июне (57–71 %), минимум – в июле (48–62 %), а на станциях Дарсский порог вторичный минимум для f наступает в сентябре (42 %) и Аркона – для T_a (42 %) – в июне, для f (43 %) – в августе. При этом годовой размах для T_a меняется от 36 % (Аркона) до 67 % (Фемарн-Бельт), а соотношение между величинами максимума и минимума в сезонной изменчивости удельного вклада СИ температуры воздуха меняется в пределах от 1.9 раз в Арконе, Дарском пороге и Д6 до 11.7 раз на ст. Фемарн-Бельт. Годовой размах для f меняется от 22 % (Дарсский порог) до 27 % (Аркона) при соотношении между величинами максимума и минимума – 1.5 и 1.7 раз.

Внутригодовая изменчивость удельного вклада СИ для W на ст. Фемарн-Бельт, Аркона и Дарсский порог характеризуется максимумом в сентябре (62–68 %) и минимумом в январе–феврале (3–58 %) и вторичными максимумами – в апреле (59–65 %)

и минимумами – в мае–июне (52–58 %) (см. таблицу 2, рисунок 2б). На станции Д6 можно говорить о двух максимумах: в ноябре и феврале (61 и 60 %) и двух минимумах: в декабре и июне (57 и 46 %). При этом годовой размах для W меняется от 12 % (Дарсский порог) до 31 % (Аркона) и до 59 % (Фемарн-Бельт), а соотношение между величинами максимума и минимума – от 1.2 (Дарсский порог) до 1.8 (Аркона) и до 20.4 (Фемарн-Бельт) раз.

Таблица 2 – Осредненная за 2002–2020 гг. внутригодовая изменчивость удельного вклада синоптической составляющей метеоэлементов в южной части Балтики

Элемент	Месяцы												I–XII
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Фемарн-Бельт (2002–2020)													
T_a (°C)	6.3	47.5	27.9	19.6	10.7	46.7	53.4	33.2	59.4	52.8	73.4	38.1	0.4
W (м/с)	3.0	52.4	58.2	58.5	57.3	51.6	53.7	57.0	62.2	46.6	51.7	47.8	47.6
P_0 (гПа) ¹	88.6	73.7	75.2	69.6	76.9	90.4	71.9	72.7	85.5	81.5	52.5	73.7	71.9
Дарсский порог (2002–2020)													
T_a (°C)	53.2	42.9	48.4	64.2	72.3	59.5	48.0	52.0	48.3	59.6	79.9	49.7	8.5
f (%)	60.1	63.2	61.9	51.5	50.3	46.5	44.8	43.0	41.7	58.7	63.1	47.9	51.3
W (м/с)	57.5	61.3	60.1	64.5	63.9	55.6	62.1	63.6	67.6	66.9	65.7	64.6	57.4
P_0 (гПа)	74.1	51.6	78.7	82.6	83.4	8.6	79.3	14.0	87.8	74.9	71.7	78.0	67.2
Аркона (2003–2020)													
T_a (°C)	51.1	38.2	39.9	56.7	49.5	42.1	55.3	65.3	57.4	60.0	73.7	47.1	8.1
f (%)	54.4	63.8	59.5	36.7	47.8	50.0	44.0	42.7	53.0	54.4	61.7	46.5	49.6
e_a (гПа)	53.5	56.7	52.7	57.5	63.5	62.1	60.8	73.0	56.8	57.0	72.3	47.2	14.6
W (м/с)	62.5	36.5	59.6	63.9	57.9	60.6	60.5	62.8	67.0	65.1	63.0	64.5	54.5
P_0 (гПа)	71.8	70.9	78.4	78.8	82.7	81.8	78.2	71.3	79.0	73.3	79.8	80.1	76.1
D6 (2004–2020)													
T_a (°C)	62.8	51.2	51.2	65.2	71.3	63.1	57.2	67.0	65.4	70.4	81.6	43.3	13.4
T_d (°C) ²	62.2	29.7	55.1	70.9	68.7	71.3	62.0	71.8	71.5	70.9	82.8	58.6	17.7
W (м/с)	58.6	60.5	56.4	49.2	47.9	46.2	49.1	49.8	52.2	60.1	60.7	57.3	48.3
P_0 (гПа)	68.7	65.4	75.4	77.6	74.1	75.6	71.1	60.4	87.5	71.2	66.1	68.0	69.5

Примечание: максимальные величины даны полужирным шрифтом, минимальные – курсивом; ¹ для P_0 данные наблюдений с 2008 г.; ² для T_d данные наблюдений с 2006 г.

Внутригодовая изменчивость удельного вклада СИ для P_0 на станциях Аркона и Д6 характеризуется тремя максимумами: в апреле–мае (78–83 %), сентябре (79–88 %) и декабре (68–80 %) и тремя минимумами: в феврале (65–71 %), августе (60–71 %) и октябре–ноябре (66–73 %) (см. таблицу 2, рисунок 2в). На ст. Фемарн-Бельт также отмечается три максимума: в январе, июне и сентябре (86–90 %) и три минимума: в апреле (70 %), июле (72 %) и ноябре (53 %).

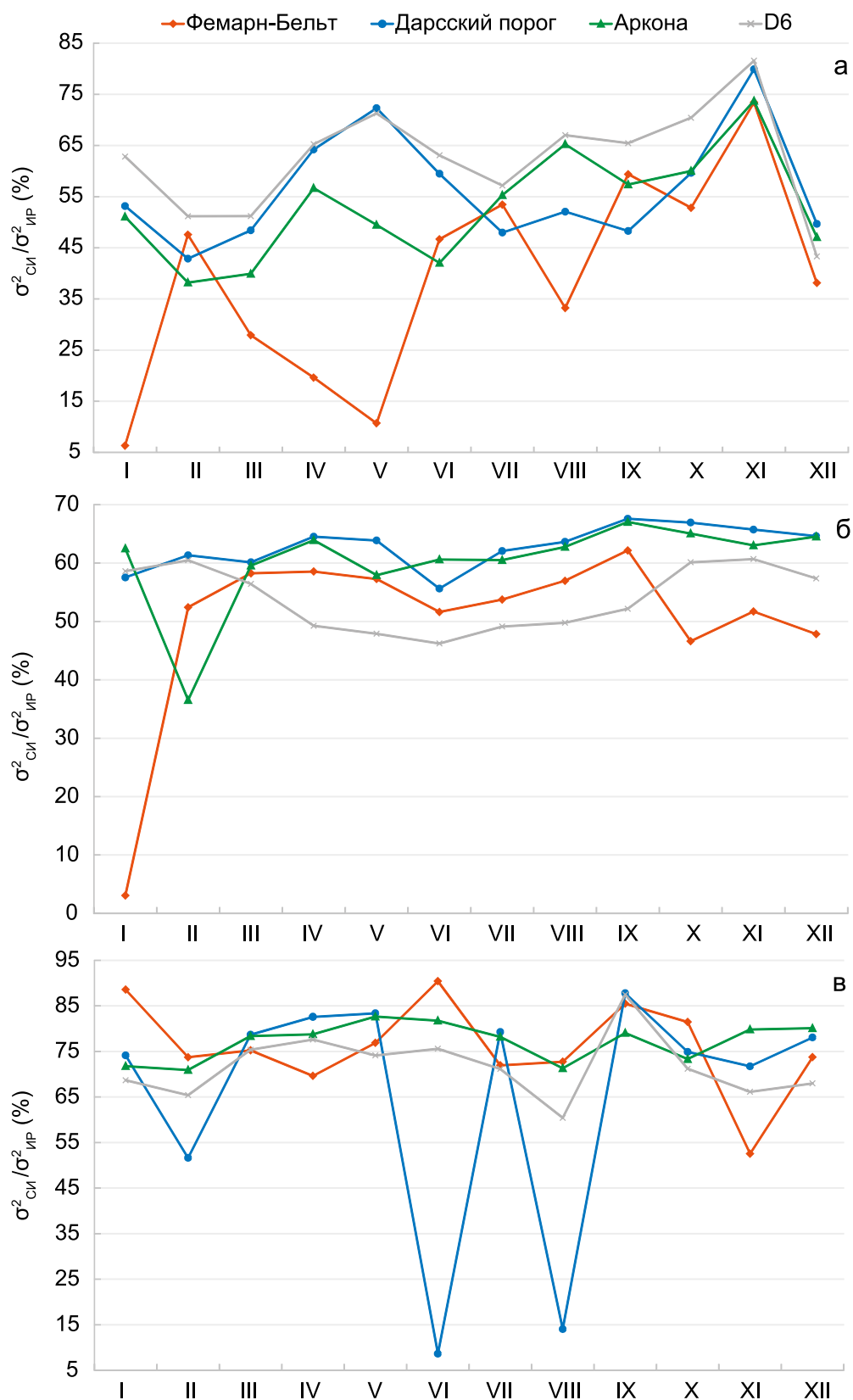


Рис. 2 – Среднеголетняя внутригодовая изменчивость удельного вклада синоптической составляющей температуры воздуха T_a (°C) – (а); скорости ветра W (м/с) – (б); атмосферного давления P_0 (гПа) – (в) в южной части Балтики за 2002–2020 гг.

На ст. Дарский порог кроме трех максимумов (май – 83 %, сентябрь – 88 % и декабрь – 78 %) и трех минимумов (февраль – 52 %, август – 14 % и ноябрь – 72 %), добавляются четвертые максимум (июль – 79 %) и минимум (июнь – 9 %). Таким образом, на всех станциях фиксируются максимумы в апреле–июне и сентябре и минимумы в феврале–апреле и июле–августе. При этом годовой размах меняется от 12 % (Аркона) до 27–38 % (Д6 и Фемарн-Бельт) и до 79 % (Дарский порог), а соотношение между величинами максимума и минимума в сезонной изменчивости удельного вклада СИ атмосферного давления меняется в пределах от 1.2–1.7 раз на станциях Аркона, Д6 и Фемарн-Бельт до 10.2 – Дарский порог.

Межгодовая изменчивость синоптической составляющей

В (Дубравин, 2014) анализ межгодовой изменчивости компонент временных рядов показал, что выявленное ранее (Дубравин, Стонт, 2012) 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 не только для основной составляющей, но и для всех остальных компонент гидрометеорологического элемента.

Этот вывод подтверждает рисунок 3, где представлена относительная доля дисперсии (с нарастанием) синоптической составляющей временной изменчивости метеорологических элементов на станциях в южной части Балтики за 2002–2020 гг.

Так, для температуры воздуха T_a (рисунок 3а) и атмосферного давления P_0 (рисунок 3в) кривые удельного вклада СИ стабилизируются относительно среднего значения на станциях Дарский порог, Аркона и Д6 через 6–8 и 8–11 лет соответственно, а для скорости ветра W – на станциях Фемарн-Бельт, Дарский порог, Аркона и Д6 через 7–9 лет (рисунок 3б).

Более наглядно это видно из рисунка 4, на котором представлены пошаговые разности синоптической составляющей (с нарастанием) временной изменчивости метеоэлементов в южной части Балтики, нормированные на общую дисперсию.

Так, пошаговые разности дисперсии синоптической составляющей T_a на ст. Дарский порог ниже ($4 \div (-1)$ %), чем на ст. Д6 ($5 \div (-2)$ %), а тем более, чем на ст. Аркона ($1 \div (-8)$ %), при этом асимптотическое приближение к среднему, наоборот, наступает быстрее (рисунок 4а).

Несколько отличная картина наблюдается для пошаговых разностей дисперсии синоптической составляющей W или P_0 . Так, для W разности на ст. Дарский порог ниже ($1 \div (-7)$ %), чем на ст. Аркона ($2 \div (-10)$ %), а тем более, чем на ст. Фемарн-Бельт ($7 \div (-9)$ %), хотя и несколько выше, чем на Д6 ($2 \div (-5)$ %). Для P_0 пошаговые разности дисперсии синоптической составляющей на ст. Дарский порог, Аркона и Д6 – схожи: $2 \div (-10)$, $8 \div (-7)$ и $3 \div (-8)$ %, соответственно.

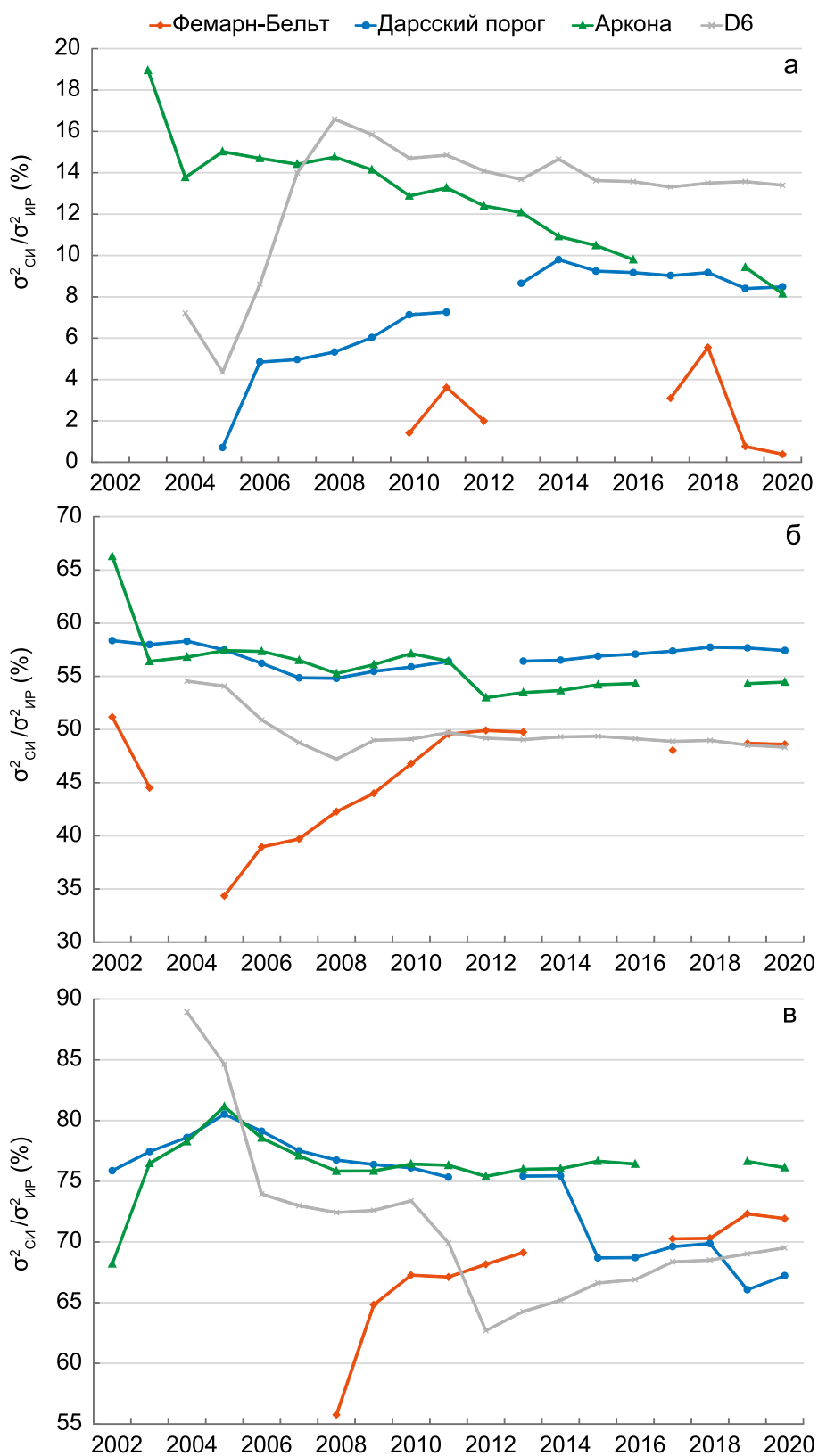


Рис. 3 – Относительная доля дисперсии (с нарастанием) синоптической составляющей временной изменчивости температуры воздуха T_a (°C) – (а); скорости ветра W (м/с) – (б); атмосферного давления P_0 (гПа) – (в) в южной части Балтики за 2002–2020 гг.

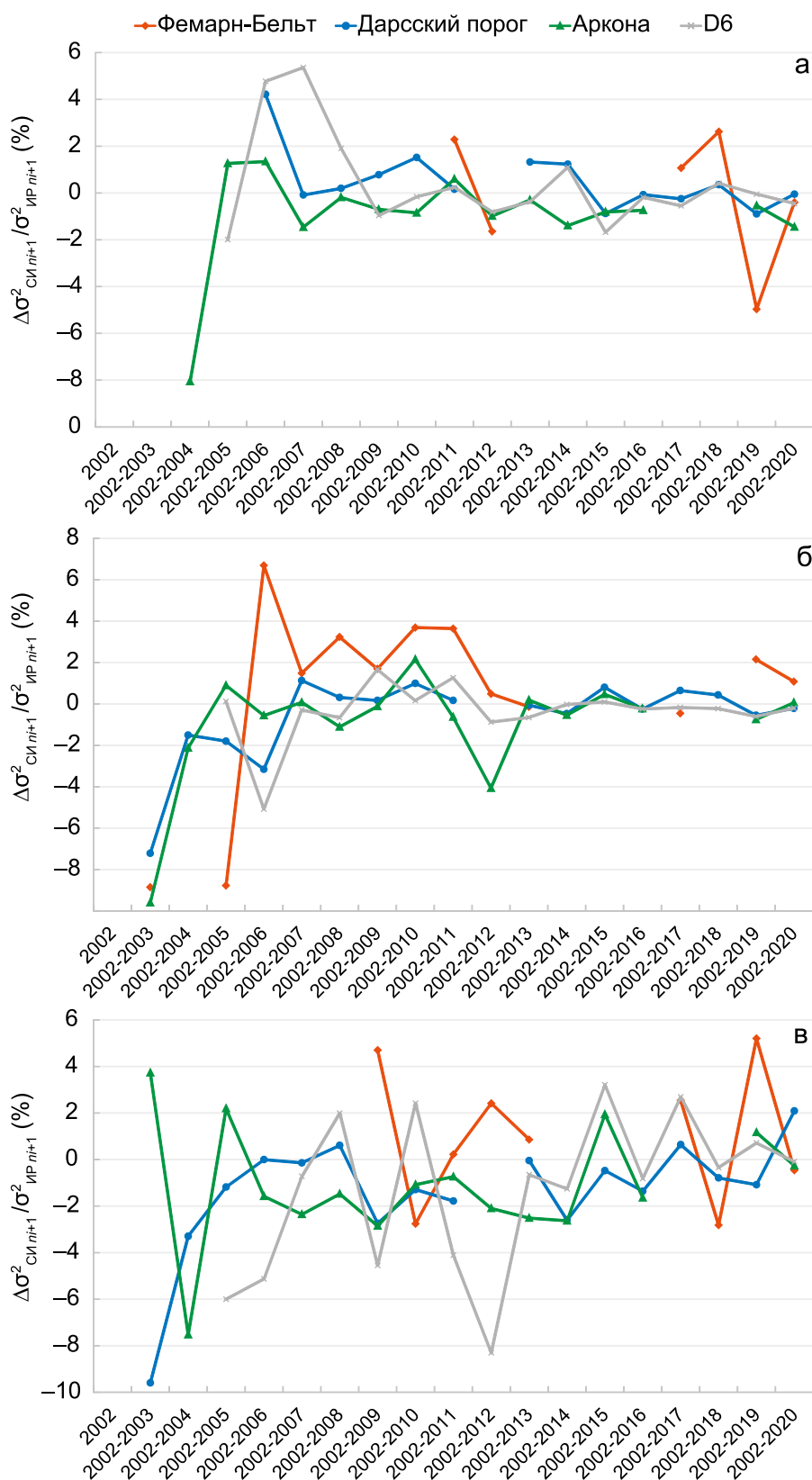


Рис. 4 – Пошаговые разности относительной доли (с нарастанием) синоптической составляющей временной изменчивости температуры воздуха T_a (°C) – (а); скорости ветра W (м/с) – (б); атмосферного давления P_0 (гПа) – (в) в южной части Балтики за 2002–2020 гг.

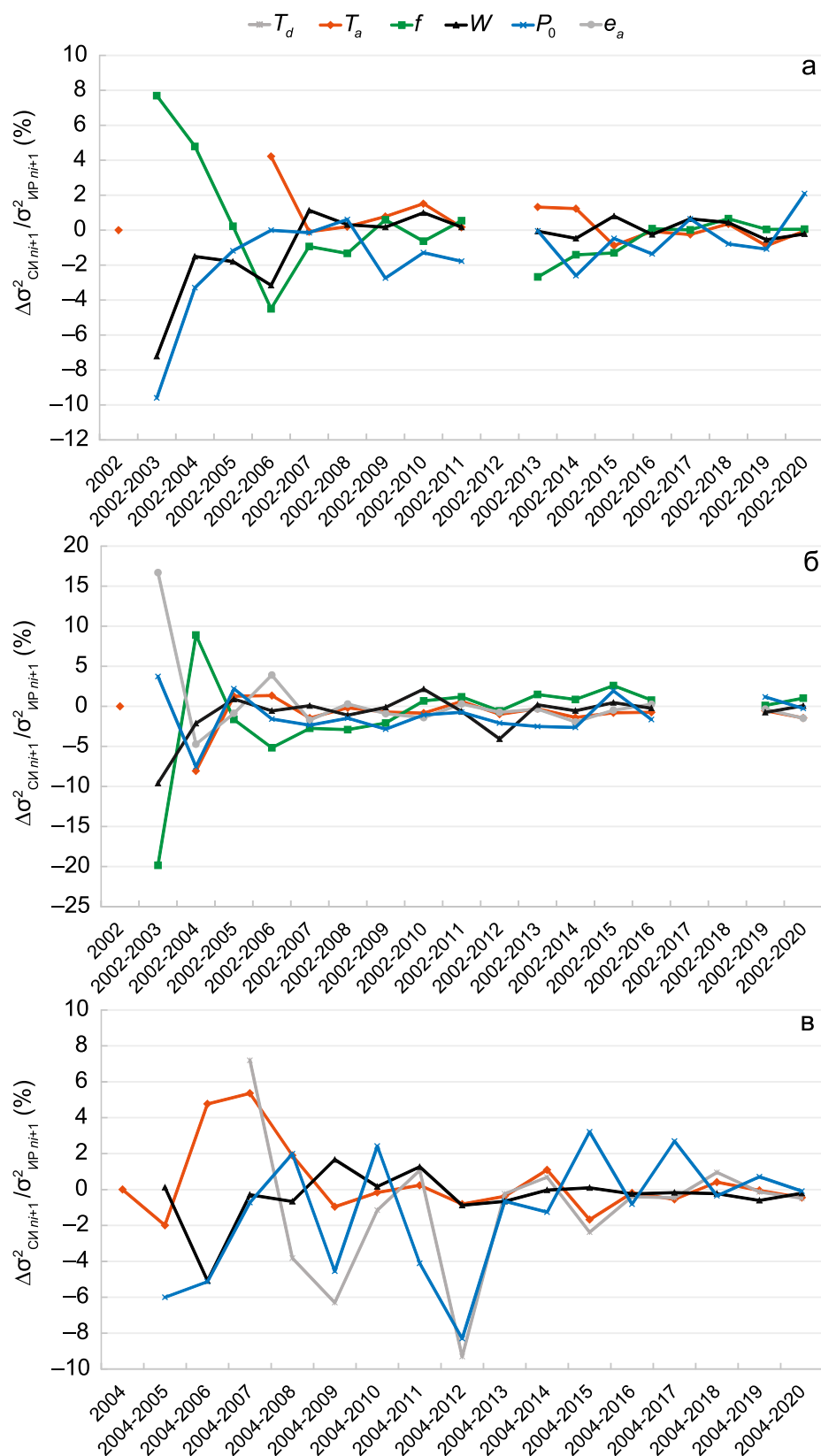


Рис. 5 – Пошаговые разности относительной доли (с нарастанием) синоптической составляющей временной изменчивости метеоэлементов на станциях Дарский порог – (а); Аркона – (б) и D6 – (в) за 2002–2020 гг.

На рисунке 5 пошаговые разности СИ метеоэлементов сгруппированы по станциям. Этот рисунок также подтверждает вывод о зависимости синоптической составляющей метеоэлементов в южной части Балтийского моря от местоположения станции (возрастание пошаговой разности СИ от $8 \div (-10)$ % на ст. Дарсский порог (рисунок 5а) до $17 \div (-20)$ % на ст. Аркона (рисунок 5б) и убывание до $7 \div (-9)$ % на Д6 (рисунок 5в) и характера метеоэлемента (на ст. Дарсский порог пошаговые разности СИ убывают от элемента к элементу в следующем порядке: f, P_0, W и T_a ; в Арконе $-f, e_a, W, P_0$, и T_a и на Д6 $-T_a, P_0, T_a$ и W).

Можно предположить, что в первом приближении это связано с долей СИ для метеоэлемента – чем больше удельный вклад СИ, тем больше пошаговые разности и тем дальше асимптотическое приближение к среднему (за исключением скорости ветра W).

Попытаемся сопоставить результаты, полученные в настоящем исследовании с помощью авторской модели временного ряда, с полученными ранее данными об изменчивости метеопараметров в Балтийском море или в других регионах Мирового океана.

Напомним, что для корректного использования нашей временной модели требуются ряды наблюдений не менее 10 лет с дискретностью от 1 ч до 1 сут. В работе (Дубравин, Стонт, 2012), в которой выполнен анализ структуры временных рядов T_a , T_d и W и P_0 на платформе Д6 и на гидрометеостанциях Висбю, Леба, Лиепая, Калининград и Клайпеда (дискретность 3 ч; 2006–2011 гг.), показана зависимость временной структуры рядов как от характера метеоэлемента, так и от его местоположения (наибольшие вклады в дисперсию исходного ряда вносят СезХ для тепло- и влагофизических (T_a и T_d), в среднем для всех станций 73 и 68 % при размахе $69 \div 76$ % и $62 \div 73$ % и СИ для динамических параметров (W и P_0) – в среднем для всех станций 49 и 72 % при размахе $38 \div 55$ % и $70 \div 76$ %. Подобная зависимость показана и в работе (Дубравин, Капустина, Стонт, 2018), в которой исследовалась сезонная и межгодовая изменчивости суточной компоненты метеорологических T_a , T_d , f , W и P_0 и гидрологических (температура T_w и соленость S верхнего слоя моря) элементов на станциях мониторинговой сети MARNET Киль, Фемарн-Бельт, Дарсский порог и Аркона за 2002–2016 гг. (дискретность 1 ч) и платформе Д6 (только T_a , T_d , W и P_0) за 2004–2016 гг. (дискретность 1 ч). Так, для метеоэлементов максимальные вклады в дисперсию ИР ряда вносят СезХ для T_a и T_d ($72 \div 87$ %) и СИ для W и P_0 ($49 \div 77$ %), а также и для f ($38 \div 53$ %).

Обратимся к Северной Атлантике. В работе (Лаппо, Гулев, Рождественский, 1990) с использованием гидрометеорологических данных с 5-градусным разрешением для компонент долгопериодной изменчивости (СезХ, ВГИ и МГИ) было получено меридиональное распределение удельных вкладов этих компонент. При этом «На дисперсию сезонной изменчивости в среднем от экватора до 70° с. ш. в Северной Атлантике приходится в температуре воды – 93.5 %, в температуре воздуха – 93.8 %, в скорости ветра – 62 %, в изменчивости уровня – 52 %, в атмосферном давлении – 36 %, в изменчивости влажности воздуха – 87 %» (Лаппо, Гулев, Рождественский, 1990, с. 201). Для широты океанской станции погоды «С» ($52^\circ 45'$ с. ш.) нами с графиков на рисунке 5.1 этой работы сняты величины вкладов СезХ для T_a – 91 %, e_a – 88 %, f – 38 %, W – 49 %, P_0 – 72 %.

W – 68 %, и P_0 – 26 %. Сходные результаты получены в (Дубравин, 2002) по той же модели для ДП (Лаппо, Гулев, Рождественский, 1990) с использованием массива COADS (Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set), содержащего среднемесячные значения температуры поверхности океана T_w , температуры воздуха T_a , удельной влажности S , атмосферного давления на уровне моря P_0 , общей облачности Cl , средней скорости ветра W , за период с 1950 по 1995 гг. с пространственным разрешением $2 \times 2^\circ$ между 70° с. ш. и 20° ю. ш. В Северной Атлантике средневзвешенное значение СезХ для тепло- и влагофизических параметров (T_w , T_a , S) составляет $81 \div 87$ %, МГИ – ($3 \div 4$ %), ВГИ – до $9 \div 16$ %. Динамические характеристики (P_0 , Cl , W) имеют распределение составляющих изменчивости качественно иное, чем физические, особенно это относится к СезХ, средневзвешенное значение которого в Северной Атлантике снижается до $20 \div 40$ %, вклад ВГИ и МГИ, наоборот, возрастают до $51 \div 71$ и $8 \div 10$ %, соответственно. При пятиградусном осреднении для всех элементов возрастает средневзвешенная доля СезХ (для T_w , T_a , S до $88 \div 92$ % и для P_0 , Cl , W до $26 \div 54$ %), в основном за счет заметного снижения ВГИ (до $5 \div 9$ % для T_w , T_a , S и до $36 \div 66$ % для P_0 , Cl , W) и мало-заметного – МГИ (3 % для T_w , T_a , S и $8 \div 11$ % для P_0 , Cl , W). Для широты океанской станции погоды «С» ($52^\circ 45'$ с. ш.) величины вкладов СезХ при двухградусном осреднении составляют для T_w , T_a , S – 87, 79 и 75 %, соответственно, и для P_0 , Cl , W – 17, 9 и 42 %, а при пятиградусном – увеличивается до 92, 85 и 84 %, соответственно, для T_w , T_a , S и до 19, 18 и 57 % для P_0 , Cl , W .

Возвращаясь к нашим оценкам компонент ИР = КП + ДП в таблице 1 и пересчитав вклад СезХ только для долгопериодной изменчивости, получим для: T_a ($88 \div 95$ %); W для большинства станций ($54 \div 72$ %), за исключением Фемарн-Бельт – 27 % и P_0 ($5 \div 18$ %). Таким образом, в оценках вклада СезХ в ДП для умеренных широт Северной Атлантики во второй половине прошлого века по двум массивам и южной части Балтики в начале нынешнего столетия наблюдаем неплохое сходство для теплофизического (T_a) и динамических (W и P_0) параметров.

Обратимся к работе (Гулев, Колинко, Лаппо, 1994), в которой предлагается другая модель временного ряда – компоненты ДП (СезХ, ВГИ и МГИ) дополнены двумя диапазонами синоптической изменчивости: «быстрые» синоптические процессы, связанные, в основном, с быстрой сменой барических образований и их отдельных фаз (от 3 ч до 3 сут.) и «медленные», связанные преимущественно с океаном и групповыми свойствами атмосферных образований (от 3 до 60 сут.). Эта модель апробировалась на 32-летних рядах срочных наблюдений в точке океанской станции погоды «С» ($52^\circ 45'$ с. ш.; $35^\circ 30'$ з. д.). Расчеты показали, что вклад СезХ для тепло- и влагофизических параметров составляет для T_w , T_a , e_a – 52, 40 и 34 %, соответственно, а для динамических – для W и P_0 – 16 и 18 %. В то время как суммарный вклад синоптической изменчивости составляет для T_w , T_a , e_a – 22, 39 и 48 %, соответственно, а для W и P_0 – 55 и 65 % и формируется в основном за счет синоптического диапазона ($3 \div 60$ сут.). Таким образом, и по этой модели вклад СезХ является преобладающим для тепло- и влагофизических параметров, а вклад синоптической изменчивости преобладает для динамических, т.е. временная структура гидрометеорологических элементов зависит,

по крайней мере, от характера самого метеоэлемента (поскольку наблюдения велись в одной точке).

Что касается различий в оценке вкладов компонент в точке океанской станции погоды «С» и нашими на морских станциях в южной части Балтики, то, по всей вероятности, они определяются различиями методик расчета синоптических компонент: в модели из (Гулев, Колинко, Лаппо, 1994) синоптическая компонента сглаживалась с периодом 3 сут., а в нашей – с периодом 1 сут., поскольку методика расчета компонент долгопериодной изменчивости в обеих моделях одинакова. Следует отметить, что в (Гулев, Колинко, Лаппо, 1994) относительные величины вкладов компонент КП и ДП приводятся только на диаграмме (рисунок В, 2), а величины дисперсии для этих компонент не приводятся, поэтому мы не можем оценить вклад СезХ только в ДП для океанской станции погоды «С».

В (Дубравин, 2014, 2017) выполнен пространственно-временной анализ гидрометеорологических полей в Балтийском море. В частности:

- рассмотрена долгопериодная изменчивость T_a в Стокгольме, Калининграде и Варнемюнде на интервале 1934–2016 гг.; показано подобие и высокая теснота связи между этими станциями для сезонной ($r = 0.99$) и межгодовой ($r = 0.91 \div 0.95$) изменчивостей, а относительный вклад СезХ в дисперсию ДП для них составил около 92 %;

- рассмотрена долгопериодная изменчивость поверхностной T_w в Борнхольмской (кв. 11), Гданьской (кв. 36), Готландской (кв. 47) впадинах на интервале 1950–2005 гг.; показано подобие и высокая теснота связи между этими станциями для сезонной ($r = 0.99$) и межгодовой (для февраля $r = 0.85 \div 0.88$; для августа $r = 0.72 \div 0.89$) изменчивостей, а относительный вклад СезХ в дисперсию ДП для них составил 90–92 %;

- рассмотрена сезонная изменчивость T_w , T_a , T_d , W и P_0 с использованием климатических карт с месячной дискретностью и карт гармонических постоянных их сезонной изменчивости. Для построения климатических карт метеорологических элементов T_a , T_d , W , P_0 , осадков Pr и испарения E были использованы средние за 1961–1990 гг. данные для прибрежных и островных метеостанций и для морских районов за 1951–2000 гг., приведенные в (State and Evolution..., 2008), а для гидрологических элементов T_w и S – средние для одноградусных квадратов данные за 1900–2005 гг., приведенные там же. Показано, что сезонная изменчивость T_w , T_a , T_d , W характеризуется годовой волной, при этом квота q_I (вклад в общую дисперсию сезонного хода) на акватории собственно Балтики для T_w , T_a , T_d высока ($q_I = 0.93 \div 0.99$), для W несколько ниже ($q_I = 0.90 \div 0.95$). Что касается P_0 , то его годовой ход очень сложен: в первой половине года можно говорить о четвертьгодовой (трехмесячной) гармонике с максимумами в феврале и мае и минимумами в ноябре–декабре и марте–апреле, а во второй половине – о полугодовой гармонике с максимумом в октябре и минимумами в июле и декабре. Именно поэтому квота q_I в собственно Балтийском море увеличивается с юга на север от $q_I = 0.1$ до $q_I = 0.5$;

- показана устойчивость генерального западно-восточного переноса воздуха над Северной Атлантикой и южной частью Балтики, при этом со ссылкой на (Абрамов, Гуштин, Стонт, 2012) отмечено, что поток круто меняет направление вместе с изменением

направления берега в Юго-Восточной Балтике на 90° с зонального западно-восточного на меридиональное с юга на север. В среднем за (1996–2010 гг.) в Европу перенос приходит от запада–северо-запада, а над Юго-Восточной Балтикой отмечается направление от юго-запада.

На основании результатов, полученных в (Дубравин, 2014, 2017), с большой долей вероятности можно утверждать, что структуры временных рядов как для тепло- и влагофизических (T_a , T_d и e_a), так и динамических (W , P_0) элементов, не претерпят значительных изменений в центральной и северной частях собственно Балтики.

Выводы

1. Структура временных рядов (в том числе и синоптическая составляющая) для метеорологических элементов в южной части Балтийского моря зависит как от местоположения, так и от характера самого метеоэлемента. Наибольшие вклады в дисперсию исходного ряда вносят СезХ для тепло- и влагофизических (T_a , T_d и e_a) – $71 \div 85$ % и СИ для динамических параметров (W и P_0) – $48 \div 76$ %, а также и для относительной влажности – СИ = $50 \div 51$ %. Таким образом, удельный вклад синоптической изменчивости для W , P_0 и f является преобладающим для всего исходного ряда ($48 \div 76$ %), а для T_a , T_d и e_a только для короткопериодной изменчивости ($8 \div 18$ %).

2. Максимальный вклад внутригодовой изменчивости синоптической составляющей метеоэлементов в южной части Балтики приурочен к сентябрю–ноябрю, когда начинается активная перестройка атмосферных процессов по зимнему типу. Минимальный вклад отмечен в январе–феврале. Годовой размах вклада внутригодовой изменчивости синоптической составляющей, как и соотношение между величинами максимума и минимума в сезонной изменчивости ее удельного вклада, для большинства станций меняется от 12 – 38 % для W и P_0 (или 1.2 – 1.8 раз) до 36 – 38 % для T_a (или 1.9 раз) и распределяется по географическому принципу (наименьшие значения размаха и соотношений между величинами максимума и минимума наблюдаются на ст. Аркона и Д6, наибольшие – на ст. Дарсский порог (для P_0 – 79 % (или 10.2 раз) и Фемарн-Бельт (для T_a – 67 % (или 11.7 раз) и для W – 59 % (или 20.4 раз)).

3. Отмечено затухание колебаний относительно среднего значения для всех компонент каждого метеорологического элемента при увеличении длины ряда. Межгодовая изменчивость синоптической составляющей метеорологических элементов в регионе исследования зависит как от местоположения (размах пошаговых разностей убывает с запада на восток от ст. Дарсский порог к Д6), так и от характера самого метеоэлемента (увеличение размаха от теплофизических параметров – T_a , к динамическим – P_0).

4. Основываясь на результатах, полученных ранее в (Дубравин, 2014, 2017), где был выполнен пространственно-временной анализ гидрометеорологических полей в Балтийском море, подтверждено подобие и высокая теснота связи между станциями южной части Балтики для сезонной ($r = 0.99$) и межгодовой ($r = 0.91 \div 0.95$) изменчивостей. В оценках вклада СезХ в ДП для умеренных широт Северной Атлантики

во второй половине прошлого века и южной части Балтики в начале нынешнего столетия установлено неплохое сходство для теплофизического (T_a) и динамических (W и P_0) параметров. С большой долей вероятности можно утверждать, что структуры временных рядов как для тепло- и влагофизических (T_a , T_d и e_a), так и динамических (W , P_0) элементов, не претерпят значительных изменений в центральной и северной частях собственно Балтики.

Благодарности. Авторы благодарят ООО «ЛУКОЙЛ-Калининградморнефть» за предоставление для анализа данных мониторинга в районе МЛСП D6; Немецкий центр океанографических данных за метеоинформацию на станциях Аркона, Дарсский порог и Фемарн-Бельт мониторинговой сети MARNET за 2002–2020 гг. (соглашение 2518/2014–002 и 2518/2016–075).

Данные на станциях Аркона, Дарсский порог и Фемарн-Бельт получены и размещены в свободном доступе сетью мониторинга морской среды BSH (MARNET), проектом RAVE (www.rave-offshore.de), проектом FINO (www.fino-offshore.de), CMEMS (<https://marine.copernicus.eu/>) и партнерами BSH.

Работа выполнена в рамках госзадания ИО РАН (тема № FMWE–2021–0012).

Список литературы

1. *Абрамов Р. В.* Изменчивость метеорологических полей в экваториальной Атлантике // Изменчивость океана и атмосферы в экваториальной Атлантике (исследования по программе ПГЭП). М.: Наука, 1982. С. 211–241.
2. *Абрамов Р. В.* Об эволюциях Исландского минимума. Деп. в ВИНТИ № 7294-B88. М., 1988. 52 с.
3. *Абрамов Р. В., Гуцин О. А.* Разномасштабные процессы и их взаимодействие в изменениях метеорологических параметров атмосферы над Атлантикой // Изв. АН СССР. Сер. ФАО. 1977. Т. 13. № 5. С. 443–450.
4. *Брукс К., Карузерс Н.* Применение статистических методов в метеорологии. Л.: Гидрометеиздат, 1963. 416 с.
5. *Бышев В. И.* Синоптическая и крупномасштабная изменчивость океана и атмосферы. М.: Наука, 2003. 343 с.
6. *Бышев В. И., Иванов Ю. И.* Временные спектры некоторых характеристик атмосферы над океаном // Изв. АН СССР. Сер. ФАО. 1969. Т. 5. № 1. С. 17–28.
7. *Груза Г. В., Ранькова Э. Я.* Структура и изменчивость наблюдаемого климата. Температура воздуха Северного полушария. Л.: Гидрометеиздат, 1980. 72 с.
8. *Гулев С. К., Колинко А. В., Ланно С. С.* Синоптическое взаимодействие океана и атмосферы в средних широтах. СПб: Гидрометеиздат, 1994. 320 с.
9. *Гусев А. К., Захарчук Е. А., Иванов Н. Е., Клеванцов Ю. П., Рожков В. А., Тихонова Н. А., Фукс В. Р.* Динамика вод Балтийского моря в синоптическом диапазоне пространственно-временных масштабов / Под ред. Е. А. Захарчука. СПб: Гидрометеиздат, 2007. 354 с.
10. *Дийкстра Х.* Нелинейная физическая океанография. М.–Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», Ин-т компьютерных исследований, 2007. 680 с.
11. *Дубравин В. Ф.* Крупномасштабный термохалинный режим вод и формирование зон биологической продуктивности Атлантического океана: Автореф. дис. ... докт. геогр. наук. СПб., 2002. 44 с.

12. Дубравин В. Ф. Эволюции гидрометеорологических полей в Балтийском море. Калининград: Капрос, 2014. 438 с.
13. Дубравин В. Ф. Эволюции термохалинной структуры вод Балтийского моря. Москва: Издательство «Перо», 2017. 438 с.
14. 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.
15. Дубравин В. Ф., Капустина М. В., Стонт Ж. И. Эволюции (сезонная и межгодовая изменчивость) суточного хода гидрометеорологических полей Южной Балтики // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Серия: естественные и медицинские науки. 2018. Вып. № 3. С. 35–54.
16. Дубравин В. Ф., Капустина М. В., Стонт Ж. И. Эволюции (сезонная и межгодовая изменчивость) синоптической составляющей потоков тепла на границе вода–воздух в юго-западной части Балтики (2003–2016 гг.) // Известия КГТУ. 2019. № 55. С. 74–87.
17. Захарчук Е. А., Тихонова Н. А. О синоптической изменчивости течений в районе Готландской впадины Балтийского моря // Океанология. 2013. Т. 53. № 4. С. 437–453.
18. Изменчивость физических полей в атмосфере над океаном / Под ред. В. С. Самойленко. М.: Наука, 1983. 168 с.
19. Каменкович В. М., Кошляков М. Н., Монин А. С. Синоптические вихри в океане. Л.: Гидрометеоздат, 1982. 264 с.
20. Лаппо С. С., Гулев С. К., Рождественский А. Е. Крупномасштабное тепловое взаимодействие в системе «океан–атмосфера» и энергоактивные области Мирового океана. Л.: Гидрометеоздат, 1990. 336 с.
21. Мамаев О. И. О пространственно-временных масштабах океанских и атмосферных процессов // Океанология. 1995. Т. 35. № 6. С. 805–808.
22. Монин А. С. Прогноз погоды как задача физики. М.: Наука, 1969. 184 с.
23. Монин А. С., Каменкович В. М., Корт В. Г. Изменчивость Мирового океана. Л.: Гидрометеоздат, 1974. 262 с.
24. Озмидов Р. В. О некоторых особенностях энергетического спектра океанической турбулентности // Докл. АН СССР. 1965. Т. 161. № 4. С. 828–832.
25. Хромов С. П. Метеорология и климатология для географических факультетов. Л.: Гидрометеоздат, 1968. 491 с.
26. Dubravın V. F., Stont J. I., Goushchin O. A. The spatial-temporal variability of the hydrometeorology fields of southeast Baltic // 2nd Baltic Green Belt Forum. Toward sustainable development of the Baltic Sea coast. Conference proceedings. 13–16.04.2010 Palanga. Klaipeda, 2010. P. 242–246.
27. Hargen E., Feistel R. Synoptic changes in the deep rim current during stagnant hydrographic conditions in the Eastern Gotland Basin, Baltic Sea // Oceanology. 2007. Vol. 49. No. 2. P. 185–208.
28. MacKenzie B. R., Schiedek D. Long-term sea surface temperature baselines – time series, spatial covariation and implications for biological processes // Journal of Marine Systems. 2007. Vol. 68. P. 405–420. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2007.01.003>.
29. Soomere T., Raamet A. Long-term spatial variations in the Baltic Sea wave fields // Ocean Sci. 2011. Vol. 7. P. 141–150. <https://doi.org/10.5194/osd-7-1889-2010>.
30. Woods J. D. Do waves limit turbulent diffusion in the ocean? // Nature. 1980. Vol. 288. No. 5788. P. 219–224.

Статья поступила в редакцию 28.04.2022, одобрена к печати 12.07.2022.

Для цитирования: Дубравин В. Ф., Капустина М. В., Стонт Ж. И. Синоптическая составляющая метеорологических элементов над южной частью Балтийского моря // Океанологические исследования. 2022. Т. 50. № 2. С. 34–55. [https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2022.50\(2\).2](https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2022.50(2).2).

SYNOPTIC COMPONENT OF METEOROLOGICAL ELEMENTS IN THE SOUTHERN BALTIC SEA

V. F. Dubravin, M. V. Kapustina, Zh. I. Stont

*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences,
36, Nakhimovskiy prospekt, Moscow, 117997, Russia,
e-mail: v_dubravin@mail.ru; kapustina.mariya@ya.ru; ocean_stont@mail.ru*

Based on field observations of air temperature T_a , relative humidity f (dew point temperature T_d or water vapor elasticity e_a), atmospheric pressure at sea level P_0 and wind speed W at stations Arkona, Darss Sill and Fehmarn-Belt of the MARNET monitoring network of the German Oceanographic Datacentre for 2002–2020 with a discreteness of 1 hour, as well as on the offshore ice-resistant stationary platform of OOO LUKOIL – Kaliningradmorneft (D6) for 2004–2020 with a discreteness of 1 hour, estimates of the contributions of the short-term (consisting of irregular intradiurnal, regular daily variation, synoptic component) and long-term (consisting of irregular intra-annual, regular seasonal variation and inter-annual component) variability into the total temporal variability of the initial series of these meteorological elements. The influence of the location of the station and the nature of the meteorological element itself on the structures of the time series of meteorological elements in the southern part of the Baltic is shown. This confirms the stability of the conclusion obtained by many researchers of the temporal variability of hydrometeorological parameters for various zones and regions of the World Ocean. In this case, the relative (specific) contribution of synoptic variability for W , P_0 and f is predominant for the entire initial series (47.6÷76.1 %), and for T_a , T_d and e_a only for short-period variability (8.1÷17.7 %). The intra-annual and inter-annual variability of the specific contribution of the synoptic component T_a , T_d , f , e_a , P_0 and W are considered. Thus, the maximum contribution of the intra-annual synoptic variability is timed to September–November, and the minimum is noted in January–February. The annual range of the contribution of intra-annual synoptic variability for most stations varies from 12–38 % for W and P_0 to 36–38 % for T_a .

Keywords: short-term and long-term variability, air temperature, dew point, water vapor pressure, relative humidity, wind speed, atmospheric pressure, analysis of variance, Baltic Sea

Acknowledgement: The authors thank OOO LUKOIL-Kaliningradmorneft for providing monitoring data in the area of the offshore ice-resistant fixed platform D6; German Oceanographic Data Center for meteorological data at stations Arkona, Darss Sill and Fehmarn Belt of the MARNET monitoring network for 2002–2020 (agreement 2518/2014–002 and 2518/2016–075).

The data at the Arkona, Darss Sill and Fehmarn Belt stations was collected and made freely available by the BSH marine environmental monitoring network (MARNET), the RAVE project (www.rave-offshore.de), the FINO project (www.fino-offshore.de), CMEMS (<https://marine.copernicus.eu/>) and cooperation partners of the BSH.

The study was done with a support of the state assignment of IO RAS (Theme No. FMWE–2021–0012).

References

1. Abramov, R. V., 1982: *Izmenchivost' meteorologicheskikh polej v ekvatorial'noj Atlantike (Variability of Meteorological Fields in the Equatorial Atlantic)*. *Izmenchivost' okeana i atmosfery v ekvatorial'noj Atlantike (issledovaniya po programme PGEF)*. Moscow, Nauka Publ., 211–241.
2. Abramov, R. V., 1988: *Ob evolyuciyah Islandskogo minimuma (On the evolution of the Icelandic Low)*. Moscow, 52 p.
3. Abramov, R. V. and O. A. Gushhin, 1977: *Raznomasshtabnye protsessy i ikh vzaimodeystvie v izmeneniyakh meteorologicheskikh parametrov atmosfery nad Atlantikoy (Multi-scale processes and their interaction in changes of the meteorological parameters of the atmosphere over the Atlantic)*. *Izvestiya AN SSSR. FAO*, **13** (5), 443–450.
4. Brooks, K. and N. Kapuzers, 1963: *Primenenie statisticheskikh metodov v meteorologii (Application of statistical methods in meteorology)*. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 416 p.
5. Byshev, V. I., 2003: *Sinopticheskaya i krupnomasshtabnaya izmenchivost' okeana i atmosfery (Synoptic and large-scale variability of the ocean and atmosphere)*. Moscow, Nauka Publ., 343 p.
6. Byshev, V. I. and Yu. I. Ivanov, 1969: *Vremennyye spektry nekotorykh harakteristik atmosfery nad okeanom (Temporal spectra of some atmospheric characteristics over the ocean)*. *FAO*, **5** (1), 17–28.
7. Gruza, G. V. and E. Ya Ran'kova, 1980: *Struktura i izmenchivost' nablyudaemogo klimata. Temperatura vozduha Severnogo polushariya (Structure and variability of observed climate. Air temperature of the Northern Hemisphere)*. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 72 p.
8. Gulev, S. K., A. V. Kolinko., and S. S. Lappo, 1994: *Sinopticheskoe vzaimodejstvie okeana i atmosfery v srednih shirotah (Synoptical interaction between the ocean and the atmosphere in the middle latitude)*. St. Petersburg, Gidrometeoizdat Publ., 320 p.
9. Gusev, A. K., E. A. Zaharchuk, N. E. Ivanov, Yu. P. Klevancov, V. A. Rozhkov, N. A. Tihonova, and V. R. Fuks, 2007: *Dinamika vod Baltijskogo morya v sinopticheskom diapazone prostranstvenno-vremennykh masshtabov (Dynamics of the Baltic Sea waters in the synoptic space-time scales)*. Saint Petersburg, Gidrometeoizdat, 354 p.
10. Dijkstra, H., 2007: *Nelinejnaya fizicheskaya okeanografiya (Nonlinear physical oceanography)*. Moskow–Izhevsk: NIC «Regulyarnaya i haoticheskaya dinamika», In-t Komp'yuternyh Issledovaniy Publ., 320 p.
11. Dubravin, V. F., 2002: *Krupnomasshtabnyj termohalinnyj rezhim vod i formirovanie zon biologicheskoy produktivnosti Atlanticheskogo okeana (Large-scale thermohaline water regime and the formation of zones of biological productivity in the Atlantic Ocean)*. Doctoral thesis abstract. Saint Petersburg, 44 p.
12. Dubravin, V. F., 2014: *Evolyucii gidrometeorologicheskikh polej v Baltijskom more (Evolution of hydrometeorological fields in the Baltic Sea)*. Kaliningrad, Kapros Publ., 438 p.
13. Dubravin, V. F., 2017: *Evolyucii termohalinnoj struktury vod Baltijskogo morya (Evolution of the thermohaline structure of the Baltic Sea waters)*. Moscow, Pero Publ., 438 p.
14. Dubravin, V. F. and Zh. I. Stont, 2012: *Izmenchivost' gidrometeorologicheskikh polej nad Yugo-Vostochnoy Baltikoy v 2004–2011 gg. (Variability of hydrometeorological fields over the South-Eastern Baltic in 2004–2011)*. *Izvestiya RGO*, **144** (5), 37–48.
15. Dubravin, V. F., M. V. Kapustina, and Zh. I. Stont, 2018: *Evolyucii (sezonnaya i mezhgodovaya izmenchivost') sutochnogo hoda gidrometeorologicheskikh polej YUzhnoj Baltiki (Evolutions (seasonal and interannual variability) of the daily course of hydrometeorological fields in the South Baltic)*. *Vestnik Baltijskogo federalnogo universiteta im. I. Kanta. Seriya: estestvennye i medicinskie nauki*, **3**, 35–54.

16. Dubravin, V. F., M. V. Kapustina, and Zh. I. Stont, 2019: Evolyucii (sezonnaya i mezhgodovaya izmenchivost') sinopticheskoy sostavlyayushchej potokov tepla na granice voda-vozduh v yugo-zapadnoj chasti Baltiki (2003–2016 gg.) (Evolution (seasonal and interannual variability) of the synoptic component of heat fluxes on the ocean-atmosphere interface in the south-western part of the Baltic Sea (2003–2016)). *Izvestiya KGTU*, **55**, 74–87.
17. Zakharchuk, E. A. and N. A. Tikhonova, 2013: On the Synoptic Variability of the Currents in the Eastern Gotland Basin of the Baltic Sea. *Oceanology*, **53** (4), 385–400. <https://doi.org/10.1134/S0001437013030119>.
18. *Izmenchivost' fizicheskikh polej v atmosfere nad okeanom*, 1983: (*Variability of physical fields in the atmosphere over the ocean*), Ed. V. C. Samoilenko, Moscow, Nauka Publ., 168 p.
19. Kamenkovich, V. M., M. N. Koshlyakov, and A. S. Monin, 1982: *Sinopticheskie vihri v okeane (Synoptic eddies in the ocean)*. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 264 p.
20. Lappo, S. S., S. K. Gulev, and A. E. Rozhdestvensky, 1990: *Krupnomasshtabnoe teplovoe vzaimodejstvie v sisteme okean-atmosfera i ehnergoaktivnye oblasti Mirovogo okeana (Large-scale thermal interaction in the ocean-atmosphere system and energy-active zone of the World Ocean)*. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 336 p.
21. Mamaev, O. I., 1995: O prostranstvenno-vremennykh masshtabakh okeanskikh i atmosferykh protsessov (About the spatial-temporal scales of the oceanic and atmospheric processes). *Okeanology*, **35** (6), 805–808.
22. Monin, A. S., 1969: *Prognoz pogody kak zadacha fiziki (Weather forecast as a problem in physics)*. Moscow, Nauka Publ., 183 p.
23. Monin, A. S., V. M. Kamenkovich, and V. G. Court, 1974: *Izmenchivost' Mirovogo okeana (Variability of the World Ocean)*. Leningrad, Hydrometeoizdat Publ., 262 p.
24. Ozmidov, R. V., 1965: O nekotorykh osobennostyakh energeticheskogo spektra okeanicheskoy turbulentnosti (Certain features of the energy spectrum of oceanic turbulence). *Doklady AN SSSR*, **161** (4), 828–832.
25. Khromov, S. P., 1968: *Meteorologiya i klimatologiya dlya geograficheskikh fakul'tetov (Meteorology and climatology for geography faculties)*. Leningrad, Gidrometeoizdat, 491 p.
26. Dubravin, V. F., Zh. I. Stont, and O. A. Gushchin, 2010: The spatial-temporal variability of the hydrometeorology fields of southeast Baltic. *2nd Baltic Green Belt Forum. Toward sustainable development of the Baltic Sea coast (Conference proceedings)*, 242–246.
27. Hargen, E. and R. Feistel, 2007: Synoptic changes in the deep rim current during stagnant hydrographic conditions in the Eastern Gotland Basin, Baltic Sea. *Oceanology*, **49** (2), 185–208.
28. MacKenzie, B. R. and D. Schiedek, 2007: Long-term sea surface temperature baselines–time series, spatial covariation and implications for biological processes. *Journal of Marine Systems*, **68**, 405–420. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2007.01.003>.
29. Soomere, T. and A. Raamet, 2011: Long-term spatial variations in the Baltic Sea wave fields. *Ocean Science*, **7**, 141–150. <https://doi.org/10.5194/osd-7-1889-2010>.
30. Woods, J. D., 1980: Do waves limit turbulent diffusion in the ocean? *Nature*, **288** (5788), 219–224.

Submitted 28.04.2022, accepted 12.07.2022.

For citation: Dubravin, V. F., M. V. Kapustina, and Zh. I. Stont, 2022: Synoptic component of meteorological elements in the Southern Baltic Sea. *Journal of oceanological research*, **50** (2), 34–55, [https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2022.50\(2\).2](https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2022.50(2).2).