

- [9] Куликов Г. К. Динамика развития крупных городов и местные бюджеты // Вестн. Балтийского федер. ун-та им. И. Канта. 2012. № 1. С. 160—168.
- [10] Лучшие города для жизни и для дела // Сити-менеджер. 2012. Июль.
- [11] Регионы России. Основные социально-экономические показатели городов. 2004: Стат. сб. / Росстат. М., 2004. 381 с.
- [12] Регионы России. Основные социально-экономические показатели городов. 2005: Стат. сб. / Росстат. М., 2006. 383 с.
- [13] Регионы России. Основные социально-экономические показатели городов. 2006: Стат. сб. / Росстат. М., 2006. 381 с.
- [14] Регионы России. Основные социально-экономические показатели городов. 2007: Стат. сб. / Росстат. М., 2007. 381 с.
- [15] Регионы России. Основные социально-экономические показатели городов. 2008: Стат. сб. / Росстат. М., 2008. 375 с.
- [16] Регионы России. Основные социально-экономические показатели городов. 2009: Стат. сб. / Росстат. М., 2009. 375 с.
- [17] Регионы России. Основные социально-экономические показатели городов. 2010: Стат. сб. / Росстат. М., 2010. 396 с.
- [18] Регионы России. Основные социально-экономические показатели городов. 2011: Стат. сб. / Росстат. М., 2011. 397 с.
- [19] Регионы России. Основные социально-экономические показатели городов. 2012: Стат. сб. / Росстат. М., 2012. 397 с.
- [20] Составлен рейтинг самых привлекательных городов России // Газета.Ru. 2013. 20 мая. Режим доступа в Интернет: http://www.gazeta.ru/social/news/2013/05/20/n_2922661.shtml

Санкт-Петербург
zhikh@leontief.ru
olga@leontief.spb.su
АНО МЦСЭИ «Леонтьевский центр»

Поступило в редакцию
29 апреля 2014 г.

Изв. РГО. 2014. Т. 146. Вып. 4

© В. А. РОЖКОВ, Н. А. СУХИХ

ТИПИЗАЦИЯ ЭПЮР ВЕРТИКАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРОСТИ МОРСКИХ ТЕЧЕНИЙ В ФИНСКОМ ЗАЛИВЕ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ

За последние годы в различных районах Мирового океана накоплен материал синхронных измерений трехкомпонентного вектора скорости течений $\vec{U}(z, t)$ прибором ADCP на серии горизонтов z_i , $i = 1, n$. Метод статистического анализа такой многомерной информации рассмотрен в работах [3, 4]. Для обобщения результатов этого анализа необходимо прибегнуть к типизации эпюр вертикального распределения скорости течений в зависимости от смены гидрометеорологической обстановки (синоптическая изменчивость) и времени года (сезонная изменчивость). Для аффинных векторов и системы

Таблица 1

Сезонная и синоптическая изменчивость течений

Сезон	Дата	№ реализации в сезонном диапазоне изменчивости	№ реализации в синоптическом диапазоне изменчивости
Осень	15.09—16.11.2010	1	1—4
	19.10—21.11.2011	6	15—16
Зима	22.11—24.01.2012	7	17—18
	12.02—30.03.2012	8	19—21
Весна	14.03—19.04.2011	2	5—6
	19.04—20.05.2011	3	7—9
	30.03—14.05.2012	9	22—24
Лето	30.05—26.06.2011	4	9—10
	01.07—05.09.2011	5	11—14
	14.05—29.06.2012	10	25—27

скалярных случайных процессов методы типизации их вертикальной структуры достаточно хорошо разработаны на примере температуры, солёности, плотности морской воды [1, 2, 5]. Для евклидовых векторов $\vec{U}(z, t)$ специфика рассматривается в настоящей работе на примере анализа измерений скорости течений прибором ADCP в Финском заливе Балтийского моря в районе м. Шепелевский.

В работе [4] показано, что для вертикальной структуры течений этого района типична трехслойность (поверхностный слой, придонный и промежуточный слои), вертикальная составляющая вектора скорости существенна лишь в диапазоне мелкомасштабной изменчивости (от нескольких минут до часа); при часовом осреднении исходных данных (за 60 мин) синоптическая изменчивость проявляется как в интенсивности потока, так и в его направленности, сезонная изменчивость скорости движения воды существенна.

Исходя из этих выводов в настоящей работе приняты следующие допущения:

1) вертикальной составляющей вектора пренебрегаем, вектор $\vec{V}(z, t)$ считаем плоским — система двух случайных величин (u, v) , $(|\vec{V}|^2 = u^2 + v^2, \varphi = \arctg(u/v))$;

2) двумерные случайные величины $\vec{V}$ описываются плотностью совместного распределения (повторяемостью) значений модуля скорости течений $|\vec{V}|$ и направлений j движения (по румбам).

В табл. 1 приводится список из 10 реализаций измерений течений, распределённых на 27 участков примерно одинаковой продолжительности (15 сут) по сезонам.

Классификация как процедура многомерного статистического анализа (МСА) пространственно-временных образов $\vec{V}(z, t)$, $i = 1, \dots, n$ предполагает прежде всего переход из выборочного пространства наблюдений в призначное пространство.

Согласно [4], этот переход достигается через аппроксимацию эпюры скорости течений выражениями

$$\vec{V}(z, t) = \begin{pmatrix} \sum_k \bar{a}_k(t) \varphi_k(z) \\ \sum_k a_k(t) \bar{\varphi}_k(z) \end{pmatrix}, \quad (1)$$

$$(2)$$

где a_k коэффициент разложения, $\varphi(z)$ — базис.

Для аффинных векторов на выбор базиса вида (1) или (2) не накладываются ограничения, но при переходе к евклидовым векторам этими ограничениями являются специфика операций сложения и умножения в алгебраическом смысле (почленно, скалярно, векторно, тензорно) и геометрическая интерпретация результатов (точка, две точки, отрезок, вектор, кривые второго порядка и т. д.).

Необходимо разделить задачу типизации эпюр на два этапа: по модулю скорости и по вектору скорости течения.

Типизация эпюр по модулю скорости течения. Поскольку операция перехода от проекций вектора к его модулю уже достигается через сумму квадратов проекций, то допустимо применить эту операцию и к левой, и к правой частям выражения (1). За базис мы выбрали полиномы П. Л. Чебышева, ортогональные на конечной системе точек.

Изменчивость $\vec{V}(z, t)$ по времени учитывается через вероятностные характеристики скалярных (операция перехода к модулю вектора уже произведена) величин $a_k(t)$. Подчеркнем, что призначное пространство величин a_k обладает меньшей мерностью, чем пространство наблюдений. В табл. 2 в качестве примера приводится последовательность значений величины

$$\delta_s^2 = \sum_{i=1}^n V_i^2 - \sum_{i=1}^n \sum_{k=0}^s a_k^2 \varphi_{ki}^2, \quad (3)$$

характеризующей скорость сходимости аппроксимации

$$\vec{V}(z) = \sum_{k=0}^s a_k \varphi_k(z) \quad (4)$$

к измеренным значениям $|\vec{V}(z, t)|$.

Из табл. 2 видно, что уже первые 4—5 членов разложения (4) дают погрешность аппроксимации эпюры модуля скорости менее 10 %. Следовательно, исходное 11-мерное пространство заменено 5-мерным призначным. Кроме того, поскольку использовались нормированные полиномы $\varphi_k(z)$, то величины во второй и третьей строчках табл. 2 в основном зависят от $a_k(t)$, которые являются индикаторами профиля $|\vec{V}(z)|$ в данный момент времени и в заданной реализации. В частности, a_0 — показатель однородности распределения модуля скорости по вертикали, a_1 — линейный показатель изменения (со знаком), a_2 — характеризует наличие перегиба профиля скорости и т. д.

Случайные величины a_k в пределах заданной реализации можно охарактеризовать квантильной функцией x_p , а временную последовательность $a_k(t)$ рассмотреть как реализацию стационарного случайного процесса, характери-

Таблица 2

Последовательность значений величины (3) и ее приращений за счет каждого из слагаемых в (4) для реализации № 1 с 15.09 по 30.09.2010 г.

s	0	1	2	3	4	5
δ_s^2	244	175	83	41	34	14
$\Delta\delta_s^2$	70	92	42	7	20	7
δ_s^2 / δ_0^2	1	0.7	0.3	0.1	0.1	0.06

зуемого в терминах математического ожидания m_k , среднеквадратического отклонения (ско) σ_k и ковариационной функции $K_k(\tau)$.

В табл. 3 приведены моменты и квантили распределений $a_k(t)$ для реализации 1, а на рис. 1 — ковариационные функции.

Располагая такой информацией, можно сделать следующие выводы: в пределах реализации 1, объединяющей 367 среднечасовых вертикальных эпюр, однородная составляющая a_0 изменяется от 7 до 100 см/с с медианой 42 см/с, линейная составляющая a_1 убывает с медианой около 30 см/с. Даже такая стилизация уже позволяет сопоставить между собой все реализации (27 за 3 года измерений) (рис. 2). Более того, квантильное ранжирование ансамбля профилей позволяет построить толерантные интервалы как «наблюденных» (аппроксимативных), так и «модельных» (воспроизведенных) эпюр с заданными границами вероятностных интервалов.

При всей привлекательности классификации эпюр с использованием выражения (4) для перехода из пространства наблюдений в призначное пространство этот способ (позволяющий снизить мерность исходной информации, сжать результаты статистического анализа в призначном пространстве и, более того, моделировать эпюры) не позволяет «увидеть» отмеченную выше трехслойность потока.

Для ликвидации этого недостатка воспользуемся методом «морфологической классификации», предложенным в работе [1], когда форма профиля полностью определяется набором его «особых точек» (экстремумы функции и ее первых двух производных, а также крайние точки профиля). В работе [2] он был использован нами для статистического TS-анализа водных масс Балтийского моря, в настоящей работе он применен для параметризации эпюры скорости течений (рис. 3).

Таблица 3

Моменты и квантили распределений $a_k(t)$ для реализации 1

	m	σ	$X_{\min}$	$X_{0.25}$	Me	$X_{0.75}$	$X_{\max}$	R
a_{k0}	47.63	19.20	7.25	34.06	42.31	57.32	101.25	94.01
a_{k1}	-33.91	18.69	-89.56	-40.43	-29.96	-21.03	2.60	92.17
a_{k2}	26.50	11.62	-6.01	18.18	26.07	34.40	56.77	62.78
a_{k3}	-16.67	8.58	-33.60	-23.21	-17.11	-10.41	6.60	40.20
a_{k4}	10.72	6.69	-7.74	6.57	11.26	15.50	25.85	33.59
a_{k5}	-10.04	4.16	-23.50	-12.74	-10.06	-7.37	2.33	25.83
a_{k6}	6.57	4.35	-2.46	3.70	6.28	8.11	20.17	22.62

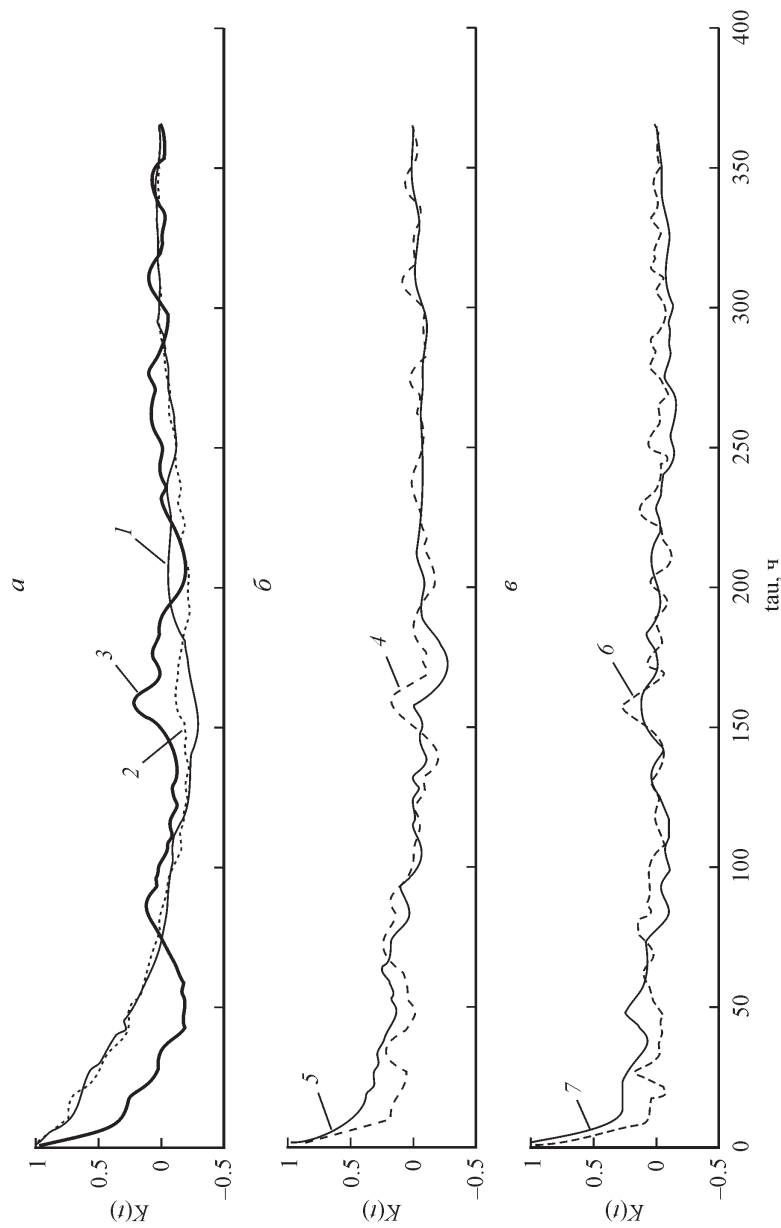


Рис. 1. Автокорреляционные функции коэффициентов $a_k(t)$ для реализации 1.

a—в — автокорреляционные функции для скалярных коэффициентов разложения по полиномам Чебышева: 1 — k_0 , 2 — k_1 , 3 — k_2 , 4 — k_3 , 5 — k_4 , 6 — k_5 , 7 — k_6 .

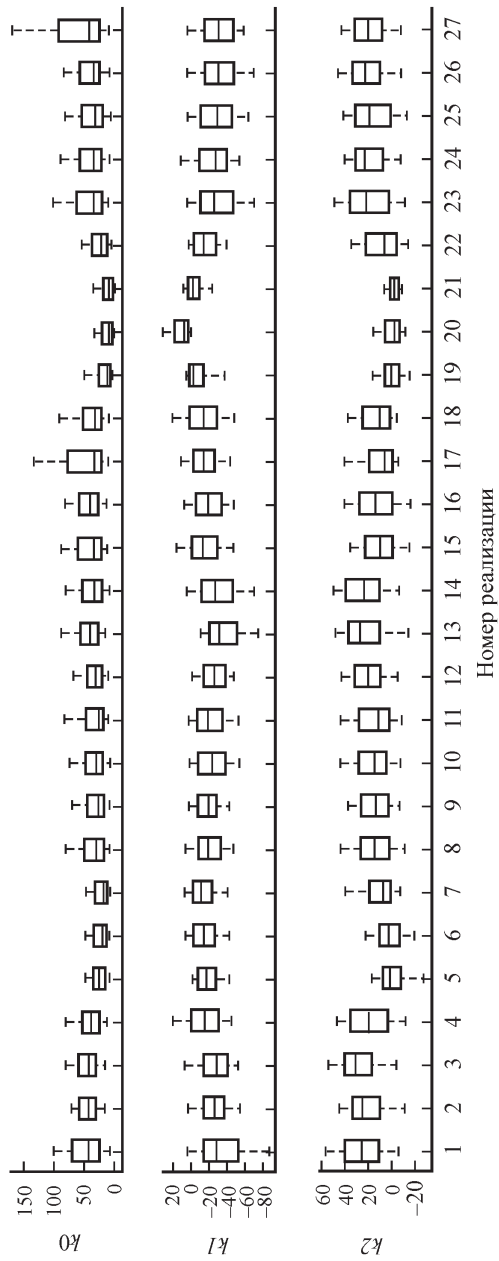


Рис. 2. Квантильные диаграммы распределений коэффициентов a_{k0} , a_{k1} , a_{k2} для 27 реализаций.

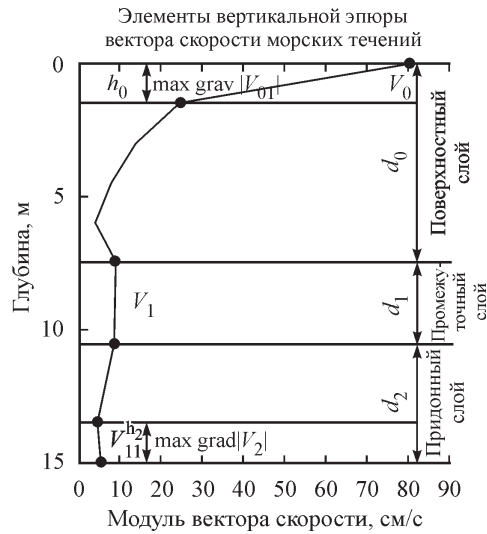


Рис. 3. Параметры, характеризующие образ вертикального распределения модуля скорости течений.

Стилизуем слои параметрами. *Верхний*: $|V_0|$ — модуль скорости течений на поверхности, $\max \text{grad } |V_{01}|$ — наибольшее значение градиента скорости на глубине h_0 в поверхностном слое, d_0 — протяженность верхнего слоя. *Нижний*: $|V_{11}|$ — модуль скорости течений на придонном горизонте, $\max \text{grad } |V_2|$ — наибольшее значение градиента скорости на глубине h_2 , d_2 — протяженность придонного слоя. *Промежуточный*: $|V_1|$ — модуль скорости в промежуточном слое (между поверхностным и придонным), d_1 — протяженность промежуточного слоя.

В табл. 4 приведены значения медиан (Me) и интерквартильных расстояний (ИКР) для всех параметров и для всех 27 реализаций.

Из таблицы видно, что при всем многообразии исходных данных Me $|V_0|$ изменяется в диапазоне от 10 до 60 см/с с вариацией ИКР от 5 до 25 см/с, Me h_0 и d_0 находятся в интервале от 2 до 5 м при ИКР 1—2 м. Me $|V_1|$ изменяется в диапазоне от 3 до 11 см/с с вариацией ИКР от 2 до 9 см/с, Me $|V_{11}|$ изменяется в диапазоне от 2 до 10 см/с с вариацией ИКР от 1 до 8 см/с, Me d_2 находится в интервале от 1 до 3 м при ИКР 1—2 м.

Подчеркнем, что предложенная параметризация кроме наглядности существования трехслойности течений и возможности дать количественную оценку синоптической и сезонной изменчивости может быть использована и на стадии верификации вероятностной модели вертикальной структуры течений (так как модель строится по коэффициентам $a_k(t)$).

Типизация эпюр по вектору скорости течения. Принципиальное отличие классификации евклидовых векторов $\vec{V}(z, t)$ состоит в выборе базиса в (2), который не задается как в (1), а находится по заданной матрице дисперсий $D_{\vec{V}}(z)$ как система ее собственных векторов, при этом допустимы 2 варианта, один из которых сводится к замене блочной матрицы $D_{\vec{V}}(z)$ ее диагональными элементами $D_u(z)$, $D_v(z)$, второй учитывает и недиагональные элементы $D_{uv}(z)$. Сохраним за собственными векторами названия в первом варианте «естественные ортогональные функции» (eof), а во втором варианте — «век-

Таблица 4

**Значения медиан (Ме) и интерквартильных расстояний
для параметров типизации для 27 реализаций***

№	N, часы	$ V_0 $			Max grad $ V_{01} $			$ V_1 $			Max grad $ V_2 $			$ V_{11} $		
		Ме, см/с	ИКР, см/с	R, см/с	Ме, см/с	ИКР, см/с	R, см/с	Ме, см/с	ИКР, см/с	R, см/с	Ме, см/с	ИКР, см/с	R, см/с	Ме, см/с	ИКР, см/с	R, см/с
1	367	59	20	113	27	9	44	10	9	61	4	3	12	6	4	25
2	357	54	15	81	26	10	45	9	6	39	4	2	10	7	4	20
3	383	63	16	93	34	10	54	8	4	23	3	2	9	9	4	24
4	365	43	22	85	21	13	49	7	5	26	4	2	11	10	5	25
5	434	13	8	37	11	6	40	5	7	77	9	1	48	2	1	9
6	407	12	7	40	10	7	57	4	5	60	3	2	35	2	1	6
7	407	19	18	80	13	11	51	3	2	27	2	3	4	2	1	8
8	467	37	19	84	18	11	48	6	5	30	2	2	8	3	2	18
9	369	36	18	77	19	11	47	6	4	25	2	3	5	4	3	19
10	236	41	19	85	20	12	49	6	5	30	2	2	7	3	2	18
11	367	35	18	82	18	10	41	7	5	28	2	2	6	3	2	9
12	357	49	16	77	25	9	43	6	4	24	2	3	8	3	2	10
13	314	61	21	103	31	12	49	8	6	33	3	3	10	4	3	17
14	495	54	25	124	29	14	66	6	4	35	2	3	10	3	2	15
15	370	32	15	68	14	10	41	8	6	32	2	3	5	7	6	32
16	423	38	18	81	17	12	51	10	6	32	2	2	6	7	5	24
17	299	30	13	73	10	9	45	11	9	40	2	3	5	9	8	38
18	440	33	18	86	15	11	41	8	6	35	2	3	6	6	5	28
19	346	—	—	—	2	2	12	5	5	37	1	2	10	2	2	10
20	359	—	—	—	2	2	9	4	3	29	1	2	4	2	1	6
21	384	—	—	—	2	2	8	4	3	26	2	2	8	2	1	10
22	382	24	20	70	13	11	41	5	4	23	2	2	6	2	2	9
23	383	50	27	103	26	14	61	8	6	40	3	2	8	4	3	23
24	325	52	21	79	28	12	49	7	5	35	3	2	7	4	3	16
25	369	45	24	84	21	13	47	7	6	37	3	2	10	2	2	12
26	407	51	22	96	26	13	50	7	5	38	3	2	8	3	2	17
27	314	56	21	95	26	13	51	11	9	54	2	3	8	5	5	43

Примечание. * Параметры h_0 , h_2 , d_0 , d_1 , d_2 в таблице не приводятся в связи с малой изменчивостью, а обсуждаются в тексте.

торные естественные ортогональные функции» (*еоеф*). Подробно их отличия описаны в работе [4]. В этой работе мы обратим внимание на различие этих вариантов, их «достоинства» и «недостатки». Первый вариант привычен для географов (поскольку привязан к системе координат: ось проекции u направлена на восток, v — на север). Однако *еоеф* оказываются не ортогональными между $u(z)$ и $v(z)$, поскольку проекции вектора коррелированны [4]. Второй вариант привычен для математиков (поскольку он задает собственную систему координат на каждом горизонте с учетом всей совокупности горизонтов), система ортогональна, но для географов этот подход абстрактен. Какому из вариантов отдать предпочтение — зависит от трафаретных вопросов МСА:

— насколько снижается мерность при переходе из пространства наблюдений в призначное пространство;

— можно ли *еоеф* или *еоеф* принять за классификационные переменные;

Таблица 5
Средние значения $\vec{m}_V(z)$ вектора $\vec{V}(z,t)$ и инварианты тензора ско
для реализаций № 1, 6, 8, 10

№	z, м	Средняя скорость течения		Инварианты тензора ско					Коэффициент изменчивости $I_1 / \vec{m}_V$
		модуль $ \vec{m}_V $	направление φ , град	$\sqrt{\lambda_1}$, см/с	$\sqrt{\lambda_2}$, см/с	α , град	$\sqrt{I_1}$, см/с	$\chi = \sqrt{\lambda_2} / \sqrt{\lambda_1}$, см/с	
1	0.2	19.33	29	48.37	26.37	20	55.09	0.55	2.85
	6.2	0.42	129	9.36	3.20	73	9.90	0.34	24.47
	15.2	3.11	76	7.12	4.91	-88	8.64	0.69	2.79
6	0.2	7.9	93	169.56	47.40	66	176.06	0.28	0.74
	6.2	2.3	222	10.86	2.71	51	11.20	0.25	4.89
	15.2	5.0	57	6.65	2.98	46	7.29	0.45	1.47
8	3.2	0.77	240	7.07	2.45	65	7.48	0.35	10.37
	9.2	1.64	71	4.03	1.56	68	4.32	0.39	2.63
	15.2	0.77	78	2.00	0.93	81	2.21	0.46	2.86
10	0.2	11.14	113	48.53	24.35	-84	54.29	0.50	4.88
	6.2	2.85	85	10.23	3.68	65	10.87	0.36	3.81
	15.2	1.57	92	3.87	2.00	80	4.34	0.52	2.77

— как отличить внутригрупповую изменчивость от межгрупповой при разбиении пространства наблюдений на классы (отдельные реализации). Именно эти вопросы и обсуждаются далее.

В табл. 5 приведены средние значения $\vec{m}_V(z)$ вектора $\vec{V}(z,t)$ и инварианты тензора ско для четырех реализаций (№ 1, 6, 8, 10). Эллипс дисперсии вектора $\vec{V}(z,t)$ характеризуется большой λ_1 и малой λ_2 осями, линейным инвариантом $I_1 = \lambda_1 + \lambda_2$, направлением α большой оси, сплюснутостью эллипса $\chi = \lambda_2/\lambda_1$, коэффициентом изменчивости $r = \sqrt{I_1} / |\vec{m}_V|$; эллипс ско характеризуется инвариантами $\sqrt{\lambda_1}$, $\sqrt{\lambda_2}$, $\sqrt{I_1}$, $\sqrt{\chi}$.

Значения параметров для реализаций 1 и 6 типичны для осени, реализации 8 — для зимы (при наличии ледяного покрова), реализации 10 — для лета. Согласно табл. 5, вектор $\vec{m}_V(z)$ характеризует трехслойную структуру потока, эллипс ско сплюснут и меняет ориентацию по глубине, зимой средние скорости течений малы, летом изменчивость течений уменьшается.

На рис. 4. приведены графики повторяемости модуля скорости и направлений течений на некоторых горизонтах реализаций. Из рис. 4 видно, что в Финском заливе довольно часто наблюдается бимодальная (по направлению) структура течений, а учитывая сплюснутость эллипсов ско (табл. 5), можно предположить реверсивный характер потока.

В табл. 6 на примере реализации № 1 (1—4) показана скорость сходимости разложения (2) с *еоф* и *веоф* базисами. Из таблицы видно, что уже 3 члена этих разложений дают погрешность аппроксимации вектора $\vec{V}(z,t)$ менее 10 %.

На рис. 5 в качестве примера сопоставлены базисные функции *еоф*, *веоф* и полиномов Чебышева. Из рис. 5 видно, что базисы *еоф* и *веоф* имеют черты сходства друг с другом и отличаются от простейших алгебраических полиномов.

На рис. 6 сопоставлены *веоф*, вычисленные как собственные векторы матрицы дисперсий, для реализаций (1—4), относящиеся к одному комплексу

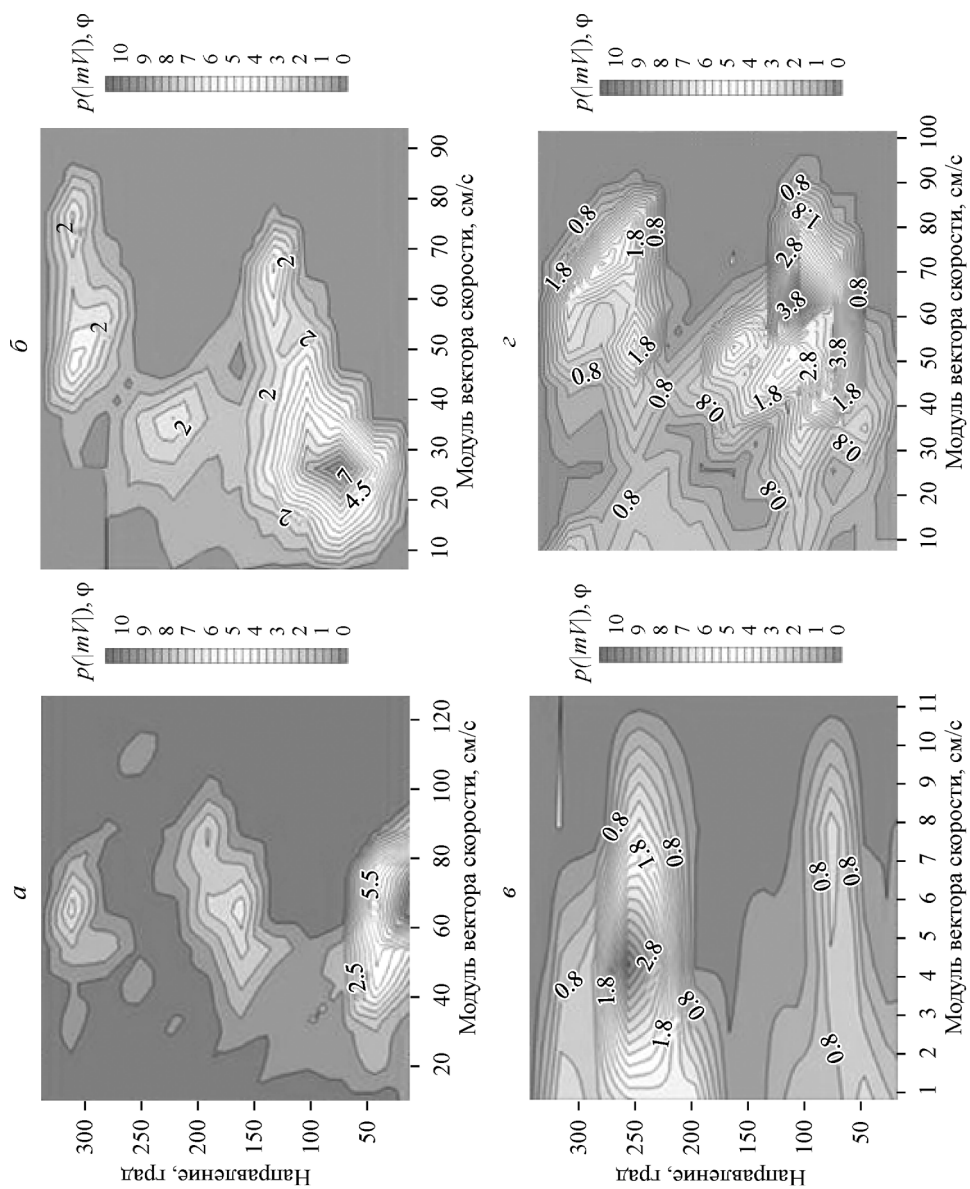


Рис. 4. Повторяемость модуля скорости и направлений течений в поверхностном горизонте реализаций.
а — № 1, б — № 6, в — № 8, г — № 10.

Таблица 6
Скорость сходимости разложения (2) с *еоф* и *веоф* базисами

<i>веоф</i>					<i>еоф</i>							
№	1	2	3	4	1		2		3		4	
λ					u	v	u	v	u	v	u	v
λ_1	3917.1	2704.5	2959.5	1389.9	2698.3	2018.6	776.8	2609.0	706.4	2755.0	957.9	1210.3
λ_2	901.8	777.5	579.3	831.0	185.4	67.3	276.1	79.2	158.6	75.5	264.3	60.4
λ_3	193.4	245.9	155.7	249.2	128.9	35.6	137.4	41.8	63.6	41.4	49.0	38.9
λ_4	72.3	138.0	82.1	60.2	27.2	18.1	33.8	24.9	37.7	16.9	26.6	30.5
λ_5	33.3	39.5	32.1	48.9	17.3	12.8	16.0	14.9	13.7	12.2	15.8	18.0
λ_6	30.7	34.9	28.6	38.9	12.6	7.6	14.2	7.1	9.8	10.4	7.4	9.2

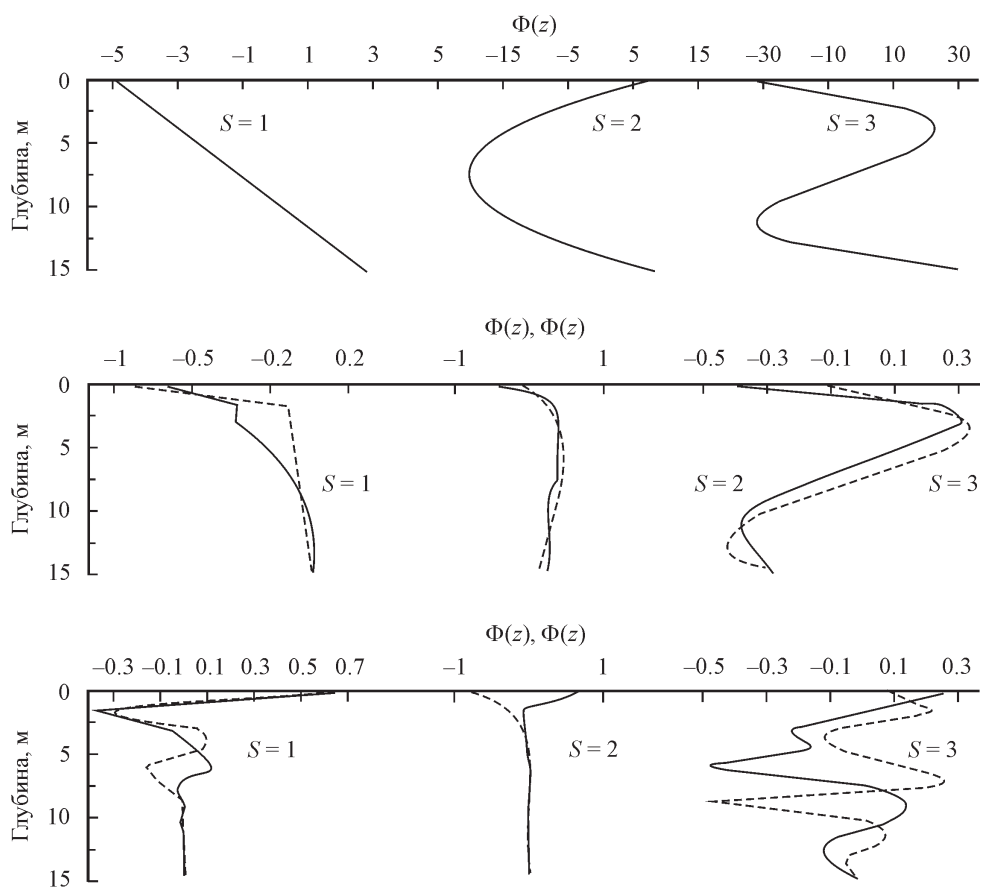


Рис. 5. Базисы разложения по полиномам Чебышева, *еоф* и *веоф*.

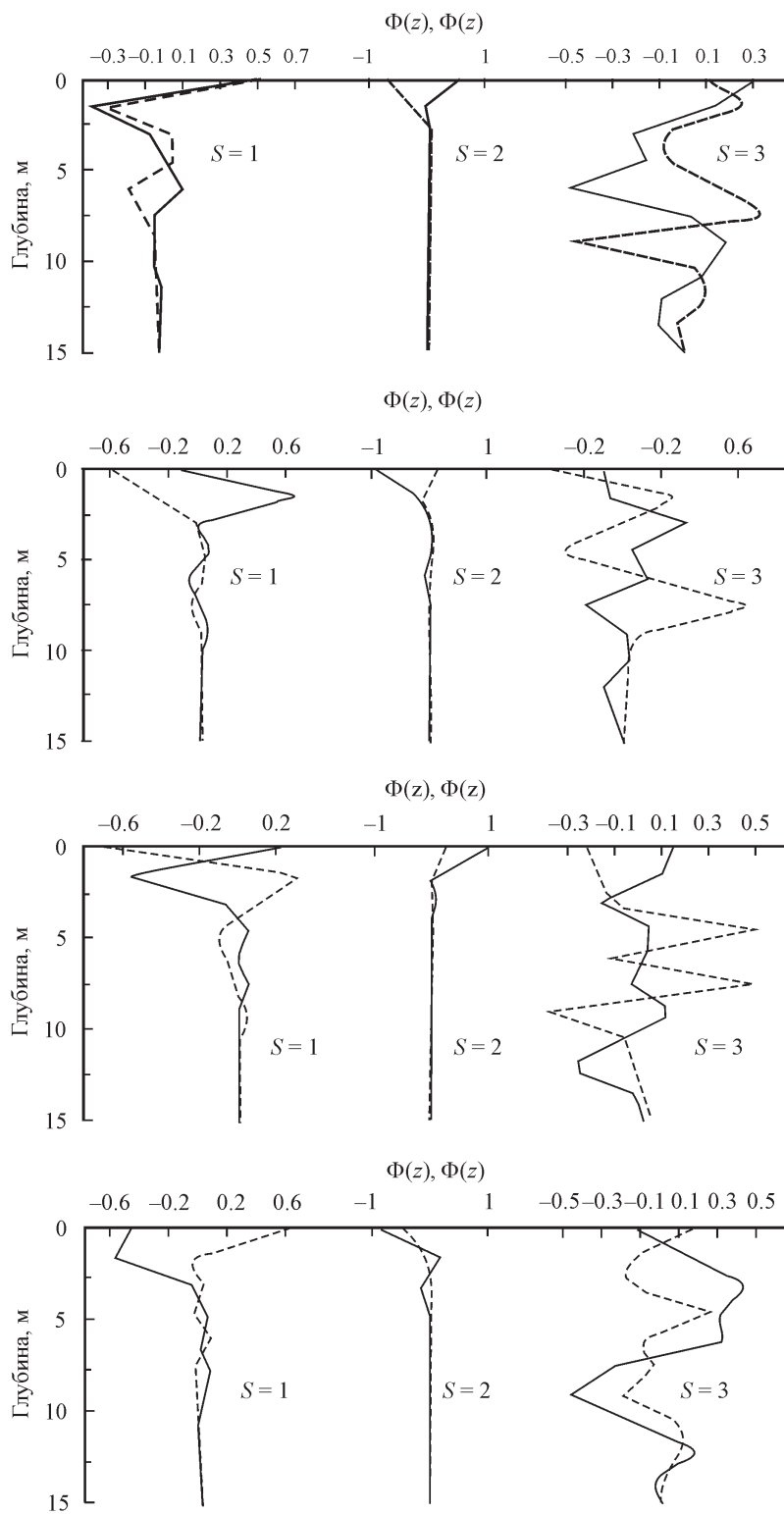


Рис. 6. Базисы *геоф* для четырех однородных участков реализации 1.

Таблица 7

**Квантильные оценки параметров
распределения коэффициентов a_k разложения (2)**

Реализация	a_{k1}	a_{k2}	a_{k3}	a_{k4}	a_{k5}	a_{k6}
m	12.36	-13.75	4.64	-1.82	4.53	1.38
σ	35.03	29.53	11.59	8.10	20.19	4.37
$X_{\min}$	-58.0	-68.2	-31.0	-25.4	-42.7	-9.4
$X_{0.25}$	-22.0	-35.1	-4.6	-7.3	-10.2	-1.7
$X_{0.5}$	30.5	-19.0	9.3	-2.6	13.6	1.1
$X_{0.75}$	41.2	1.4	13.3	3.7	18.7	4.1
$X_{\max}$	53.4	64.3	23.7	18.6	32.4	16.8

гидрометеорологических условий (15.09—16.11.2010 г.) и имеющие длины реализаций одинаковой продолжительности. Различия между ними оставляют открытым вопрос: считать ли их выборочной изменчивостью оценок $\bar{\varphi}_k^*$ или неоднородностью комплекса условий? Даже из табл. 6 видно, что участки реализации № 1 отличаются дисперсией (λ_k) коэффициентов a_k разложения (2), поскольку в пределах двух месяцев осени 2010 г. менялась синоптическая обстановка.

Дальнейший анализ состоит в том, что случайные величины a_k в пределах заданной реализации можно охарактеризовать квантильной функцией x_p , а временную последовательность $a_k(t)$ рассмотреть как реализацию стационарного случайного процесса, характеризуемого в терминах математического ожидания m_k , ско σ_k и ковариационной функции $K_k(\tau)$.

В табл. 7 приведены моменты и квантили распределений $a_k(t)$, а на рис. 7 — квантильные диаграммы, на рис. 8 — ковариационные функции временных рядов $a_k(t)$.

Располагая такой информацией, можно сделать следующие выводы. Даже такая стилизация уже позволяет сопоставить (рис. 7) между собой все реализации (27 за 3 года измерений). Распределение по сезонам этих реализаций дано в табл. 1. Прежде всего обратим внимание на зимний сезон (реализации № 7 и 8) при наличии ледяного покрова. Для реализации № 8 по сравнению с № 7 характерен особый тип структуры. Теплый сезон: осень (реализации № 1, 6), весна (реализации № 2, 3, 9), лето (реализации № 4, 5, 10) подвержен синоптической изменчивости; это можно увидеть по рис. 8, который типичен для процессов авторегрессии—скользящего среднего АРСС (2, 1). Первый переход через нулевой уровень у коррелограмм наблюдается между 100 и 150 ч, а второй — около 360 ч (участки 1—2), но при смене синоптической обстановки (участки 3—4) первый переход через ноль наблюдается уже между 20 и 30 ч, а второй — только между 100 и 150 ч.

Из этого можно сделать предположение, что за базисные функции на этом интервале нужно принять участки реализаций, характеризующие выбросы с положительной производной (условно назовем их «шторма») и расположенные ниже фиксированного уровня (условно назовем их «окна погоды»). Развитие этого положения, а также построение моделей типичных ансамблей реализаций и сценариев их синоптической изменчивости являются предметом наших дальнейших исследований.

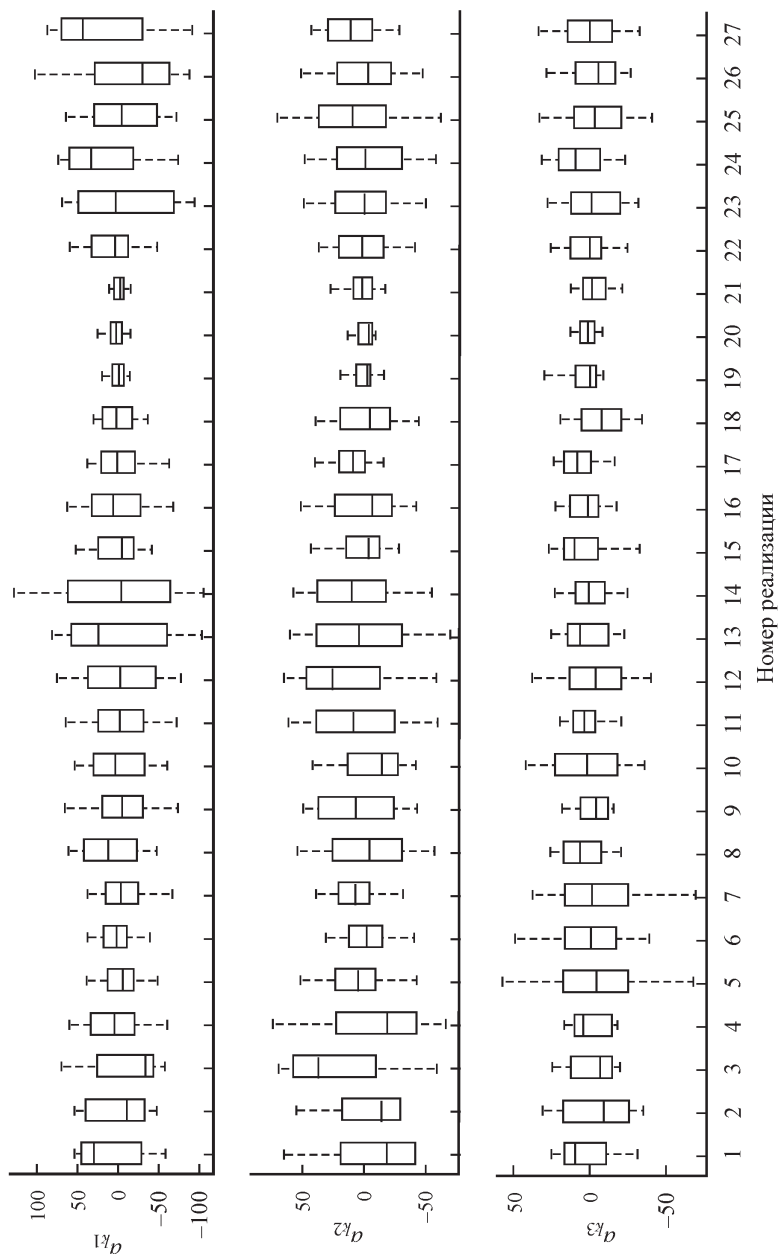


Рис. 7. Квантильные диаграммы распределений a_k (2) по реализации 1.

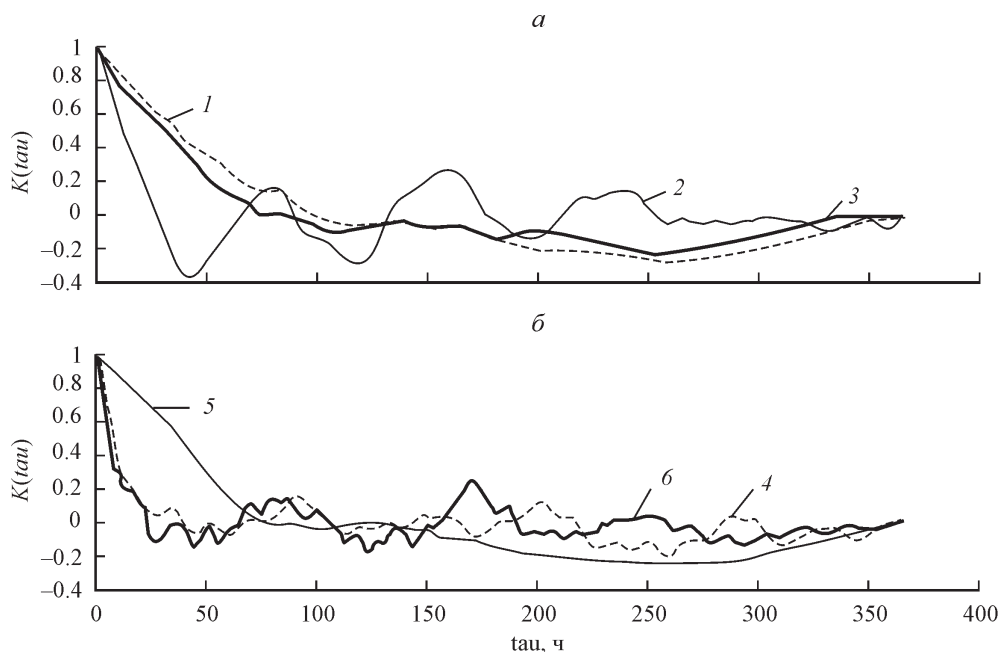


Рис. 8. Автокорреляционные функции коэффициентов разложения a_k по *веоф* для реализации 1.

Автокорреляционные функции для скалярных коэффициентов разложения по *веоф* (а, б): 1 — a_{k1} , 2 — a_{k2} , 3 — a_{k3} , 4 — a_{k4} , 5 — a_{k5} , 6 — a_{k6} .

Выводы

1. Метод типизации эпюр заключается в их разложении в ряд (2) по векторному ортогональному базису, зависящему от вертикальной координаты, со скалярными коэффициентами, зависящими от времени.

2. График векторного базиса (*веоф*) позволяет подтвердить наличие в Финском заливе трехслойной вертикальной структуры течений и может служить индикатором ее перестройки в диапазонах синоптической и сезонной изменчивости.

3. При заданном базисе разложения (2) скалярные коэффициенты a_k первых трех слагаемых позволяют:

- оценить толерантный интервал «допустимых эпюр» по их квантильной функции;
- построить примитивную вероятностную модель сценария синоптической изменчивости эпюр с учетом квантильной и ковариационной функций;
- верифицировать модель по маргинальным распределениям повторяемости модуля скорости, а также по распределениям характерных элементов эпюры.

Список литературы

- [1] Белкин И. М. Морфолого-статистический анализ стратификации океана. Л.: Гидрометеиздат, 1991. 133 с.

- [2] Бухановский А. В., Кох А. О., Рожков В. А. Статистический анализ водных масс Балтийского моря // Труды ГОИН. 2002. Вып. 208. С. 96—126.
- [3] Клеванцов Ю. П., Рожков В. А., Смирнов К. Г., Сухих Н. А. Статистический анализ вертикального распределения трехкомпонентного вектора скорости морских течений // Проблемы Арктики и Антарктики. 2012. № 4(94). С. 41—52.
- [4] Клеванцов Ю. П., Рожков В. А., Смирнов К. Г., Сухих Н. А. Вертикальная структура течений в Финском заливе // Изв. РГО. 2013. Т. 145, вып. 4. С. 24—43.
- [5] Hjelmervik K. T., Hjelmervik K. Estimating temperature and salinity profiles using empirical orthogonal functions and clustering on historical measurements // Ocean Dynamics. 2013. Vol. 63. P. 809—821.

Санкт-Петербург
varozhk@gmail.com
Санкт-Петербургский государственный университет

Поступило в редакцию
29 апреля 2014 г.

Изв. РГО. 2014. Т. 146, вып. 4

© Л. Е. НАЗАРОВА

ИЗМЕНЧИВОСТЬ СРЕДНИХ МНОГОЛЕТНИХ ЗНАЧЕНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В КАРЕЛИИ

Данные многолетних метеорологических наблюдений свидетельствуют, что с начала XX в. происходят изменения глобальной климатической системы. Закономерности происходящих изменений в конце XX—начале XXI в. представляются наиболее интересными. Именно детальный анализ климатических особенностей регионов, изучение ответной реакции природных систем на изменения климата на основе репрезентативных наблюдений позволят внести определенный вклад в решение проблем изменения климата.

Описанию климатических условий Карелии посвящено несколько работ, основанных на анализе данных наблюдений до 1980-х гг. Наиболее полная характеристика климата республики дана в работе А. А. Романова [7]. Климатические условия отдельных районов Карелии подробно рассмотрены в работах «Климат Петрозаводска» [3] и «Климат Сортавалы» [4]. Карты, характеризующие климат Карелии, приведены в «Атласе Карельской АССР» [1]. Они содержат сведения о температуре воздуха, осадках, направлении ветра, характеристике климата по сезонам. «Научно-прикладной справочник по климату СССР» [6] содержит данные по 9 метеорологическим станциям (МС) Карелии из 32 существовавших на тот момент станций (данные до 1980 г.). В работе Н. Н. Филатова [8] рассмотрены условия формирования и основные характеристики климата в районе Ладожского и Онежского озер. Ко времени написания данной работы в базе данных ИВПС КарНЦ РАН содержались сведения об основных климатических параметрах по 1990 г. В сборнике «Климат Карелии: изменчивость и влияние на водные объекты» [2] под редакцией Н. Н. Филатова анализируются данные по 2000 г. включительно. Изменения климата последних 10—15 лет не нашли своего отражения в приведен-