

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР
ЛЕНИНГРАДСКИЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
HYDROMETEOROLOGICAL INSTITUTE IN Leningrad

Transactions

Труды
вып. 32

vol. 32

06
778

ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ПРОБЛЕМЕ ОКЕАН—АТМОСФЕРА

INVESTIGATIONS
ON THE OCEAN — ATMOSPHERE PROBLEM

Сборник 2

работ научно-исследовательского института взаимодействия океана
и атмосферы

issue 2

of the papers of the air sea interaction institute

24443

БИБЛИОТЕКА
Ленинградского
Гидрометеорологического
Института

ЛЕНИНГРАД
1970

Сборник содержит результаты исследований взаимодействия океана и атмосферы, выполняемых в Ленинградском гидрометеорологическом институте. Статьи посвящены формированию процессов в реальных океанах и морях, изменению метеорологических и гидрологических условий и их прогнозу. Некоторые статьи имеют теоретическое и методическое содержание.

Сборник рассчитан на широкий круг океанологов, метеорологов и геофизиков, а также на преподавателей, аспирантов и студентов.

Научный редактор **В. В. Тимонов**

Ответственный редактор *О. А. Алекин*

2—9—6

Труды Ленинградского Гидрометеорологического института
Исследования по проблеме океан — атмосфера

СБОРНИК 2

Работ научно-исследовательского института взаимодействия океана и атмосферы

Редактор *Б. И. Леонова*

М-13 525. Сдано в набор 21/V-1968 г. Подписано к печати 2/VII-1970 г. Формат бум. 70 × 108^{1/16}.
Бумага тип. № 3. Печ. л. 16. Уч.-изд. л. 19. Тираж 500. Заказ 2329. Цена 1 р. 84 к. Тем. план 1968 г.

Типография профессионально-технического училища № 4. Ленинград, 12-я Красноармейская ул., 27.

СОДЕРЖАНИЕ

Часть первая. ФИЗИКА ОКЕАНА И АТМОСФЕРЫ

Теория, эксперименты, методы расчета

	Стр.
<i>В. М. Радикевич.</i> Исследование некоторых характеристик взаимодействия пограничных слоев атмосферы и моря на основе новой теоретической модели	3
<i>А. С. Балужева, В. Н. Веретенников.</i> К теории нестационарных чисто дрейфовых течений в океане	16
<i>А. С. Балужева, В. Н. Веретенников.</i> К вопросу о расчете ветрового нагона	23
<i>В. А. Макаров.</i> О распространении длинной волны в канале переменной ширины	30
<i>Л. И. Борис.</i> О расчете внутренних приливных волн и связанных с ними течений в океане	33
<i>Б. А. Каган, А. В. Некрасов, Р. Э. Тамсалу.</i> Расчет приливных явлений в море с учетом горизонтального турбулентного трения	50
<i>А. В. Некрасов.</i> Использование соотношений между уровнем и его наклоном при анализе приливных колебаний	56
<i>А. Б. Мензин.</i> Об электрической аналоговой модели глубинной циркуляции	64

Формирование процессов в реальных океанах и морях

В. В. Тимонов . Очаги взаимодействия океана и атмосферы	69
<i>В. М. Радикевич.</i> Основные причины изменений сезонных величин турбулентного потока тепла и затрат тепла на испарение в Северной Атлантике	76
<i>И. П. Карпова.</i> К вопросу об устойчивости атмосферы над Северной Атлантикой	81
<i>Н. Л. Козутовский.</i> К обмену теплом и солями между верхним слоем и глубинными водами Северной Атлантики	85
<i>Б. И. Тюрков.</i> Расчетная схема изменений структуры деятельного слоя Охотского моря от сезона к сезону	94
<i>В. П. Хрол.</i> Метод расчета адвективных изменений толщины льда вдоль восточно-американского пути перемещения льдов	121

Изменение метеорологических и гидрологических условий, их прогноз

<i>Б. Б. Елекоев.</i> Об изменении длины планетарных волн при переходе от зональной циркуляции к меридиональной	138
<i>А. А. Гирс.</i> Учет развития макросиноптических процессов при изучении причин изменения фоновых характеристик гидросферы	145
<i>А. И. Савичев.</i> К вопросу о прогнозе барического поля над Северной Атлантикой в июле	169
<i>Е. И. Серяков, В. П. Карауловский.</i> Расчет вариаций месячных величин потерь тепла на испарение и теплообмена с атмосферой в Северной Атлантике	184
<i>Е. И. Серяков, А. И. Смирнова.</i> Связь составляющих теплового баланса Северной Атлантики с аномалиями температуры воды за характерные годы	193
<i>А. И. Смирнова.</i> Изменение теплосодержания деятельного слоя Северной Атлантики при разных типах атмосферной циркуляции	206
<i>И. П. Карпова.</i> О влиянии Исландского минимума атмосферного давления на течения Норвежского моря	221

Методы натурных исследований, приборы

<i>А. В. Проворкин, Г. Р. Рехтзамер.</i> Применение искусственных спутников Земли для океанологических исследований	230
<i>А. В. Проворкин, Г. Р. Рехтзамер.</i> О дешифрировании снимков льдов, полученных с метеорологических спутников Земли	239

Часть вторая. ХИМИЧЕСКОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ОКЕАНА И АТМОСФЕРЫ

<i>О. А. Алекин, Н. П. Моричева.</i> Расчет насыщенности карбонатом кальция воды Черного моря	250
---	-----

CONTENTS

Part first. PHYSICS OF THE OCEAN AND THE ATMOSPHERE

Theory, experiments, methods of calculation

	Pp.
<i>V. M. Radikevich</i> . Investigation of some characteristics of interaction between the atmosphere and sea boundary layers on the base of a new theoretical model	3
<i>A. S. Baluyeva, V. N. Veretennikov</i> . On the calculation of wind-induced surge	16
<i>A. S. Baluyeva, V. N. Veretennikov</i> . On the theory of non-stationary drift currents in the ocean	23
<i>V. A. Makarov</i> . On the propagation of a long wave in a channel with the variable cross-section	30
<i>L. I. Boris</i> . Calculation of internal waves and associated currents in the ocean	33
<i>B. A. Kagan, A. V. Nekrasov, R. E. Tamsalu</i> . Calculation of tidal phenomena in the sea taking into account the lateral turbulent friction	50
<i>A. V. Nekrasov</i> . Use of the relationships between the sea-level and its slope at the tidal oscillation analysis	56
<i>A. B. Menzin</i> . Electrical analogue model of the deep circulation	64

Formation of real ocean and sea processes

<i>V. V. Timonov</i> . Centers of ocean.—atmosphere interaction	69
<i>V. M. Radikevich</i> . Main causes of variations of seasonal values of turbulent heat flux and evaporation heat loss in the North Atlantic	76
<i>I. P. Karpova</i> . On the atmosphere stability over the North Atlantic	81
<i>N. L. Kogutovskv</i> . Heat and salt exchange between the upper and deep layers in the North Atlantic	85
<i>B. I. Tjuriakov</i> . Calculated pattern of the changes of the structure of the Okhotsk Sea from season to season	94
<i>V. P. Khrol</i> . Methods of calculation of the advective variation of the thickness of the ice along the East American ice travel path	121

Variation of meteorological and hydrological conditions and their forecast

<i>B. B. Etekoyev</i> . Change of the planetary waves length during the transition from the zonal to meridional circulation	138
<i>A. A. Girs</i> . Use of the data of the development of the macrosynoptic processes in studying causes of background hydrosphere characteristics variations	145
<i>A. I. Savichev</i> . The forecast of the atmosphere pressure field over the North Atlantic in July	169
<i>E. I. Seryakov, V. P. Karaulovsky</i> . Calculation of variations of the month values of evaporation heat loss and the sea—air heat exchange in the North Atlantic	184
<i>E. I. Seryakov, A. I. Smirnova</i> . Relation between heat balance components and water temperature anomalies for the characteristic years in the North Atlantic	193
<i>A. I. Smirnova</i> . Variation of the active layer heat content in the North Atlantic in various types of the atmospheric circulation	206
<i>I. P. Karpova</i> . Influence of the Icelandic depression on the currents of the Norwegian Sea	221

Methods of natural investigations. Apparatus

<i>A. V. Provorkin, G. R. Rekhtzamer</i> . Use of satellites for oceanological investigations	230
<i>A. V. Provorkin, G. R. Rekhtzamer</i> . Decoding of ice photographs made by means of meteorological satellites	239

Part second. CHEMICAL SEA-AIR INTERACTION

<i>O. A. Alekii, <i>N. P. Moricheva</i></i> . Calculation of the saturation of calcium carbonate in the water of the Black Sea	250
--	-----

РАСЧЕТ ВАРИАЦИЙ МЕСЯЧНЫХ ВЕЛИЧИН ПОТЕРЬ ТЕПЛА НА ИСПАРЕНИЕ И ТЕПЛООБМЕНА С АТМОСФЕРОЙ В СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКЕ

Е. И. Серяков, В. П. Карауловский

Исследование закономерностей многолетних изменений теплового состояния морей и океанов можно проводить с помощью данных по тепловому балансу за отдельные годы [1, 2]. Как известно, для Северной Атлантики регулярных измерений составляющих теплового баланса почти нет. Необходимые для расчета компонент теплового баланса систематические данные гидрометеорологических элементов имеются только по кораблям погоды.

В данной работе была сделана попытка рассчитать теоретически возможные вариации основных составляющих расходной части уравнения теплового баланса по материалам девяти кораблей погоды [3].

В качестве расчетного метода были использованы известные разработки В. В. Шулейкина, М. И. Будыко и других авторов по определению величин испарения и теплообмена с атмосферой. Как показали работы ряда авторов, применение методов, первоначально использованных только для климатологических расчетов, вполне возможно для целей расчета месячных величин этих составляющих за конкретные годы [4]. Нами были использованы формулы следующего вида

$$P = 0,15 \cdot w (t_w - t_a), \quad (1)$$

$$LE = 0,24 \cdot w (e_s - e_a), \quad (2)$$

где P — турбулентный теплообмен подстилающей поверхности с атмосферой, выраженный в $\text{ккал}/\text{см}^2\text{мес}$; LE — затраты тепла на испарение выраженные в $\text{ккал}/\text{см}^2\text{мес}$; w — скорость ветра, в $\text{м}/\text{сек}$; $e_s - e$ — дефицит влажности, в мб ; $t_w - t_a$ — разность температуры воды и воздуха.

Вариации теплового баланса вычислялись как отклонения расчетных величин P и LE от этих же характеристик, взятых из «Атласа теплового баланса земного шара» под редакцией М. И. Будыко.

Расчет вариаций турбулентного теплообмена с атмосферой производился по формуле вида

$$\frac{\Delta P}{P} = \frac{\Delta w}{w} + \frac{\Delta(t_w - t_a)}{t_w - t_a} \quad (3)$$

причем при $W = \text{const}$ рабочая формула имеет вид:

$$\frac{\Delta P}{P} = \frac{\Delta(t_w - t_a)}{t_w - t_a}; \quad (4)$$

при $(t_w - t_a) = \text{const}$

$$\frac{\Delta P}{P} = \frac{\Delta w}{w} \quad (5)$$

Рабочие формулы для другой компоненты расходной части уравнения теплового баланса имеют аналогичный вид

$$\frac{\Delta LE}{LE} = \frac{\Delta w}{w} + \frac{\Delta(e_s - e_a)}{e_s - e_a} \quad (6)$$

при $W = \text{const}$

$$\frac{\Delta LE}{LE} = \frac{\Delta(e_s - e_a)}{e_s - e_a} \quad (7)$$

при $(e_s - e_a) = \text{const}$,

$$\frac{\Delta LE}{LE} = \frac{\Delta w}{w} \quad (8)$$

Строго говоря, эти формулы справедливы лишь тогда, когда Δw , $\Delta(t_w - t_a)$ и $\Delta(e_s - e_a)$ изменяются на малую величину. К сожалению, в данной работе изменения гидрометеорологических элементов были иногда значительными.

В рассмотренных выше формулах $w(t_w - t_a)$, $(e_s - e_a)$ — средние многолетние значения гидрометеорологических элементов, взятые из работы [3]. Характеристики ветра, выраженные в баллах, брались как средние значения градаций баллов. Δw , $\Delta(t_w - t_a)$, $\Delta(e_s - e_a)$ — отклонения измеренных элементов в конкретном месяце от их средне-многолетних значений.

Для уменьшения ошибок все расчеты месячных величин ΔP и ΔLE велись не в абсолютных, а в относительных величинах. Для каждого месяца десятилетнего ряда (1950—1960 гг.) по девяти кораблям погоды были получены величины вариаций турбулентного теплообмена и потерь тепла на испарение, вычисленные как по максимальным значениям исходных гидрометеорологических элементов, так и по минимальным данным из 10-летнего ряда наблюдений в Северной Атлантике. Некоторые результаты расчетов приводятся в таблице и в виде карт вариаций P и LE для июня и октября 1957 г. (рис. 1 и 2). Из анализа этих карт видно, что наибольшие отклонения до 200% в месячных величинах турбулентного теплообмена поверхности океана с атмосферой возникают из-за аномалий в разности температуры воды и воздуха. Аномалии скорости ветра, полученные из максимально возможных значений, тоже заметно сказываются на отклонениях в величинах теплообмена. Рассматривая изменчивость месячных величин теплообмена по акватории Северной Атлантики, можно отметить, что наибольшие аномалии имели место в Северо-Атлантическом течении. Аналогичные выводы можно сделать и по вариациям месячных величин потерь тепла на испарение (рис. 3 и 4). Для данной составляющей аномалии, полученные из-за скорости ветра и дефицита влажности воздуха, примерно одинаковы. Суммарные аномалии потерь тепла на испарение в рассматриваемом нами районе не превышали 100%, ибо по абсолютной величине они, как известно, значительно больше величин теплообмена.

При анализе вариаций теплообмена и потерь тепла на испарение оказалось, что наибольшие отклонения их от средних многолетних значений получились при расчетах по максимальным значениям гидрометеорологических элементов режима океана.

Изменчивость теплообмена в ряде районов Атлантики составляет $\pm 3-4$ ккал/см²мес, а для потерь тепла на испарение отклонения

Таблица I

Вариации месячных величин теплообмена и потерь тепла на испарение,
вычисленные по минимальным отклонениям
гидрометеорологических элементов, %

Корабль Д

Месяц, год	$\frac{\Delta P}{P}$ сум- марное	$\frac{\Delta P}{P}$ по W	$\frac{\Delta P}{P}$ по ($t_w - t_a$)	$\frac{\Delta LE}{LE}$ сум- марное	$\frac{\Delta LE}{LE}$ по W	$\frac{\Delta LE}{FE}$ по ($e_s - e_a$)
I	2	3	4	5	6	7
I 1953	35	9	26	-41	9	-50
II	22	22	00	-88	22	-110
III	23	23	00	-67	23	-90
IV	-296	4	-300	-110	4	-114
V	71	4	67	29	4	25
VI	119	19	100	54	19	35
VII	164	14	150	-29	14	-43
VIII	71	21	50	58	21	37
IX	46	46	00	-93	46	-139
X	85	18	64	-15	18	-33
XI	44	11	33	29	11	18
XII	23	00	23	34	23	11
I 1957	76	22	54	25	22	3
II	87	41	56	-2	41	-43
III	83	33	50	-7	33	-40
IV	74	24	50	28	24	4
V	13	13	00	-48	13	-61
VI	101	1	100	40	1	39
VII	-3	-3	00	-403	-3	-400
VIII	10	10	00	-52	10	-62
IX	112	45	67	34	45	-11
X	-5	-5	00	-77	-5	-72
XI	68	25	43	51	25	26
XII	-184	16	-200	-73	16	-89
I 1959	61	17	44	12	17	-5
II	72	22	50	-48	22	-70
III	71	38	33	-19	38	-57
IV	44	24	20	-29	24	-53
V	68	8	60	4	8	-4
VI	127	27	100	16	27	-11
VII	202	2	200	172	2	170
XXI	20	20	00	5	20	-15
VIII	47	47	00	-92	47	-139
	105	25	80	-1	25	-26
XI	68	12	56	54	12	42
XII	65	32	33	61	32	29

Корабль А

I 1953	86	15	71	31	15	16
II	9	9	00	29	9	20
III	102	40	62	75	40	35
IV	100	00	100	24	00	24
V	28	28	00	-78	28	-106
VI	171	21	150	1171	21	1150
VII	2	2	00	70	2	68
VIII	21	21	00	35	21	14
IX	110	10	100	-9	10	-19
X	52	19	33	99	19	80
XI	74	24	50	46	24	22
XII	2	35	-33	43	35	8

	1	2	3	4	5	6	7
I	1957	112	34	78	50	34	16
II		77	33	44	70	33	37
III		48	23	25	23	23	00
IV		123	23	100	47	23	24
V		97	30	67	-10	30	-40
VI		26	26	00	3	26	-23
VII		3	3	00	59	3	56
VIII		92	25	67	58	25	33
IX		118	18	100	7	18	-11
X		103	32	71	117	32	85
XI		60	20	40	26	20	6
XII		94	34	60	88	34	54
I	1959	87	27	60	18	27	-9
II		90	40	50	87	40	47
III		86	19	67	53	19	34
IV		132	32	100	53	32	21
V		96	29	67	12	29	-17
VI		87	37	50	49	37	12
VII		74	24	50	92	24	68
VIII		86	36	50	40	36	4
IX		127	27	100	16	27	-11
X		92	25	67	106	25	81
XI		61	36	25	33	36	-3
XII		36	16	20	54	16	38

Корабль С

I	1953	77	17	60	-15	17	-32
II		66	16	50	-161	16	-177
III		107	32	75	32	32	00
IV		6	6	00	-174	6	-180
V		-3	-3	00	-49	-3	-46
VI		27	27	00	-58	27	-85
VII		20	20	00	-21	20	-41
VIII		132	32	100	96	32	64
IX		127	27	100	-5	27	-32
X		70	20	50	49	20	29
XI		81	21	60	59	21	38
XII		85	25	60	38	25	13
I	1957	122	42	80	34	42	-8
II		106	23	83	5	23	-18
III		72	22	50	-18	22	40
IV		122	22	100	-23	22	-45
V		209	9	200	-7	9	-16
VI		-40	10	-50	-2290	10	-2300
VII		-3	-3	00	-170	-3	-167
VIII		113	113	100	244	13	231
IX		-8	-8	00	-112	-8	-104
X		84	34	50	60	34	26
XI		46	13	33	32	13	19
XII		78	18	60	21	18	3
I	1959	74	24	50	-37	24	-61
II		113	38	75	-14	38	-52
III		104	29	75	26	29	-3
IV		116	16	100	-75	16	-91
V		172	-28	200	-65	-28	-37
VI		20	20	00	-65	20	-85
VII		14	14	00	-153	14	-167
VIII		116	16	100	-15	16	-31
IX		119	19	100	42	19	23
X		49	16	33	29	16	13
XI		78	28	50	54	28	26
XII		71	38	33	15	38	-23

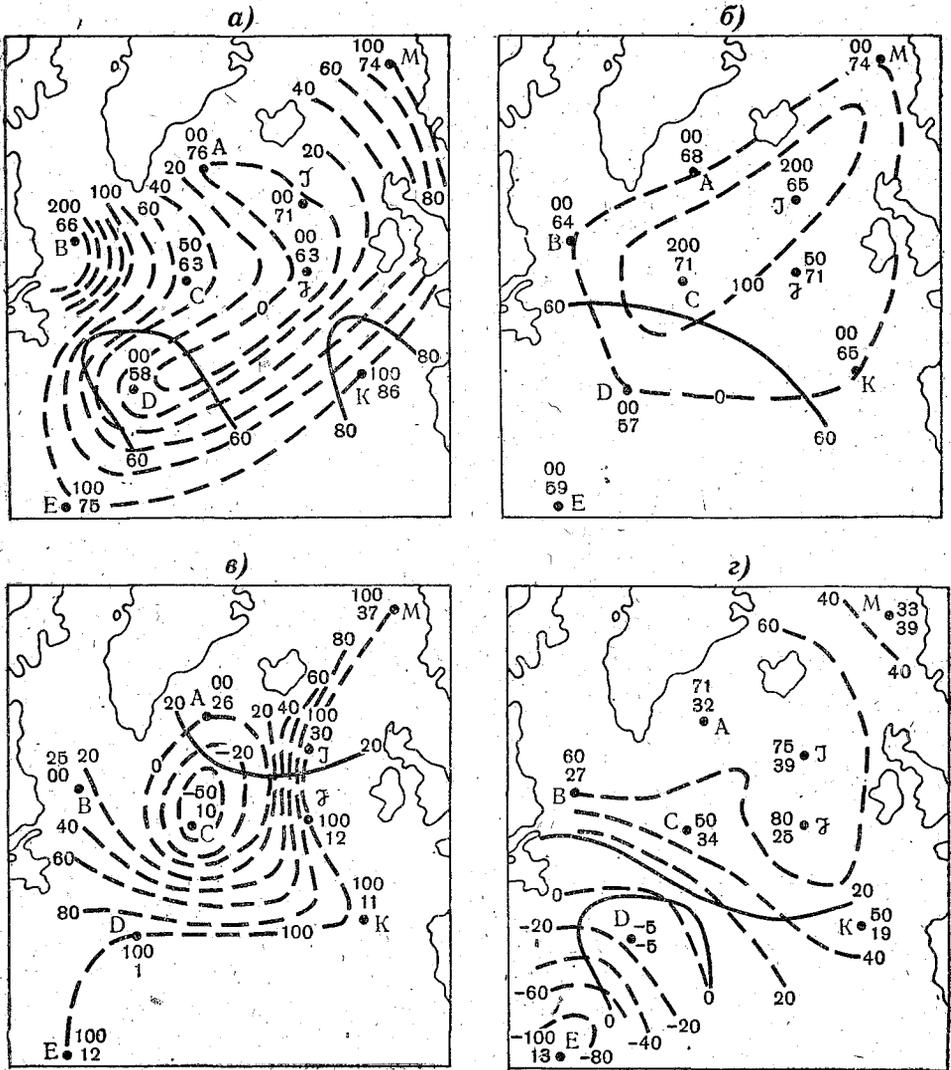


Рис. 1. Месячные вариации турбулентного теплообмена в зависимости только от изменчивости или скорости ветра (сплошная линия) или разности температуры воды и воздуха (пунктир).

$\frac{\Delta P}{P} \%$ для июня (а) и октября (б) по максимальным отклонениям гидрометеорологических элементов; $\frac{\Delta P}{P} \%$ для июня (в) и октября (г) по минимальным отклонениям гидрометеорологических элементов.

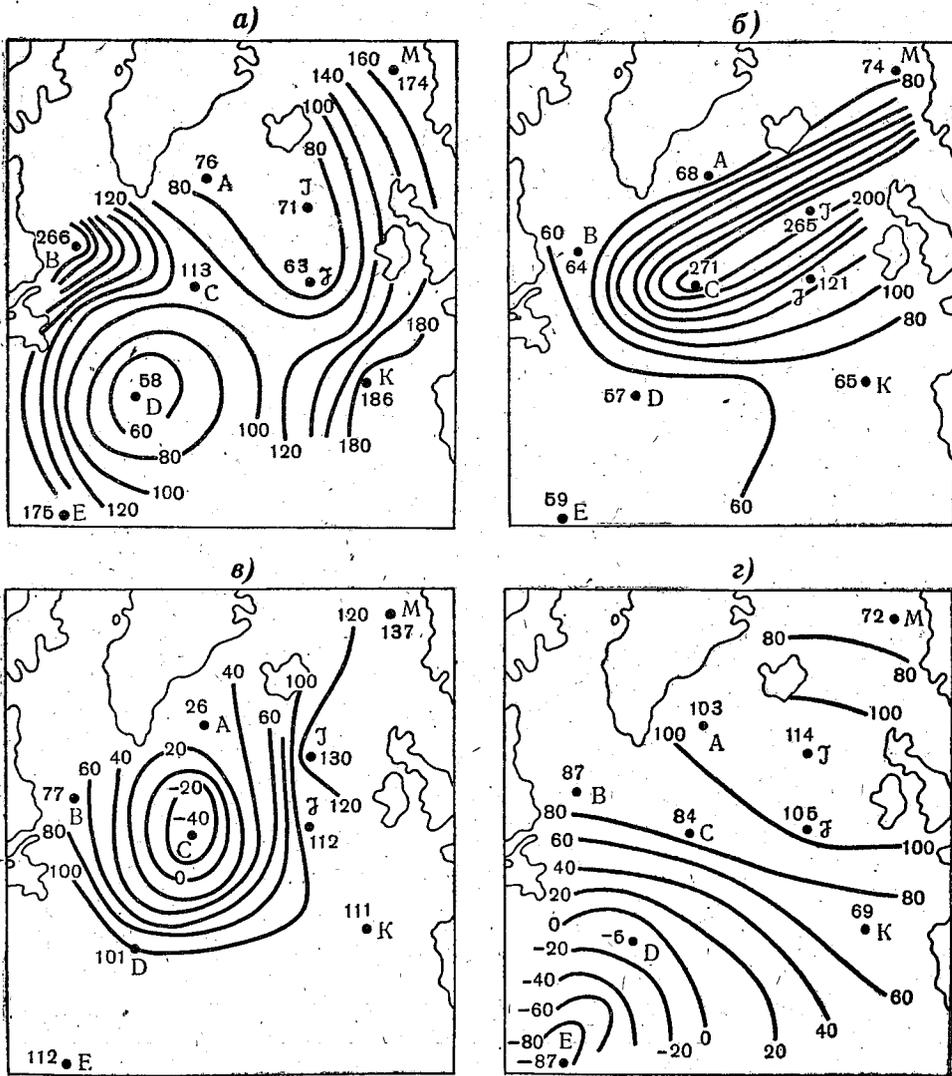


Рис. 2. Суммарные вариации месячных величин турбулентного теплообмена. В июне (а) и октябре (б) по ΔW_{\max} и $\Delta(t_W - t_a)_{\max}$; в июне (в) и октябре (г) по $-\Delta W_{\min}$ и $\Delta(t_W - t_a)_{\min}$

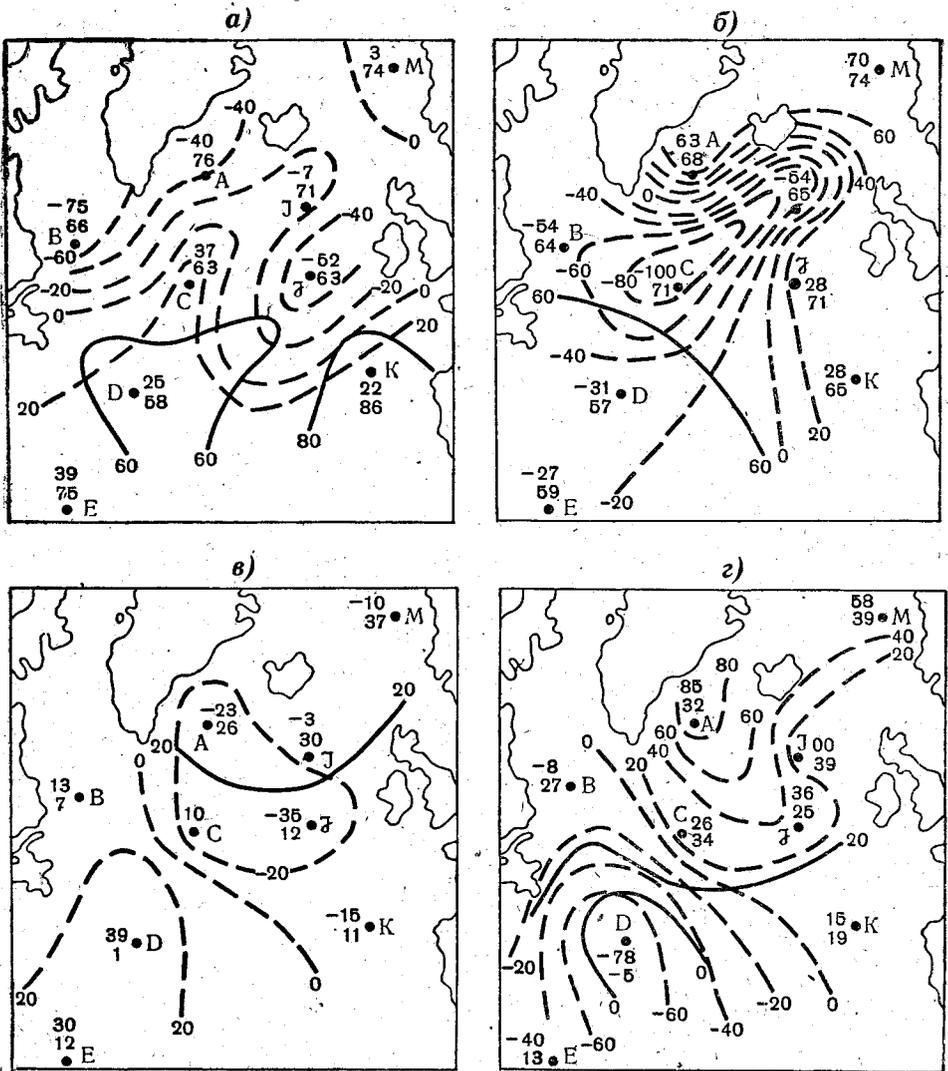


Рис. 3. Месячные вариации потерь тепла на испарение в зависимости только от изменчивости или скорости ветра (сплошная линия) или дефицита влажности воздуха (пунктир).

$\frac{\Delta hE}{hE} \%$ для июня (а) и октября (б) по максимальным отклонениям гидрометеорологических элементов; $\frac{\Delta hE}{hE} \%$ для июня (в) и октября (г) по минимальным отклонениям гидрометеорологических элементов.

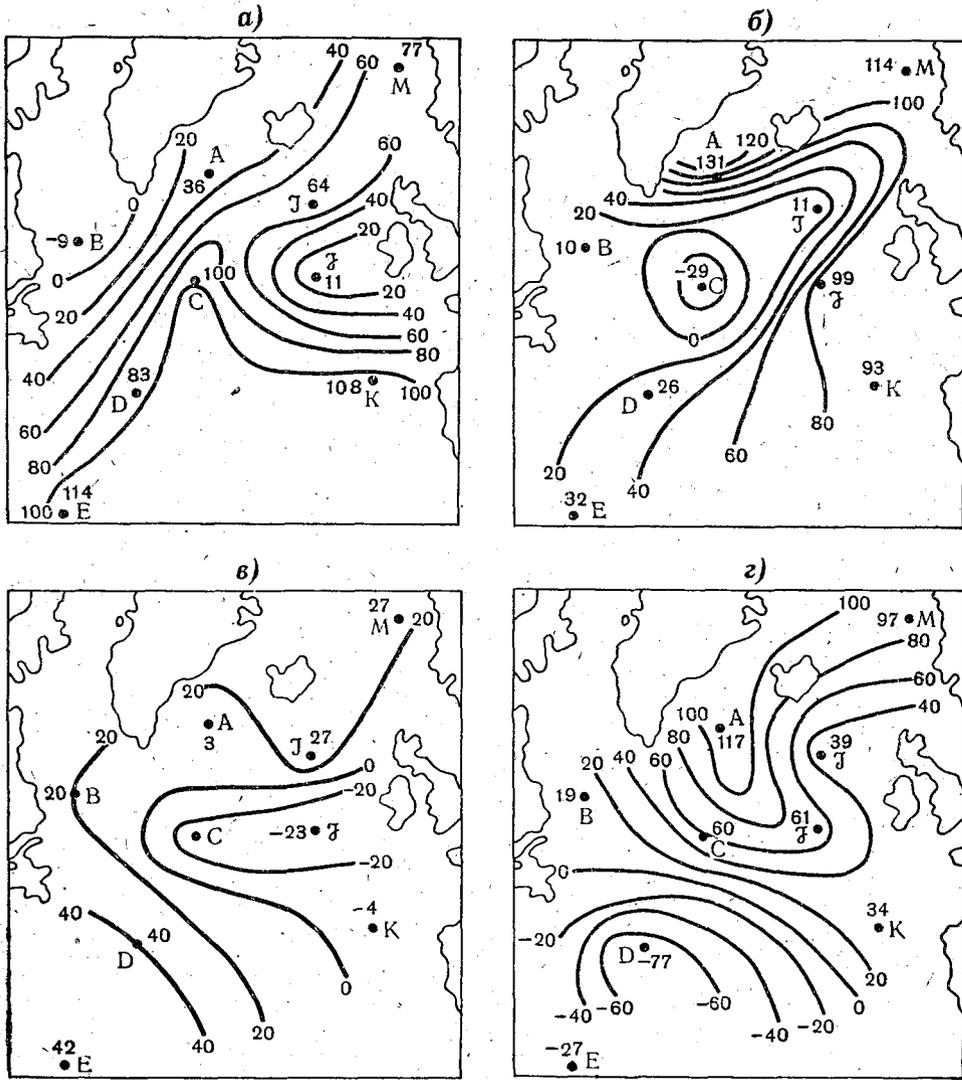


Рис. 4. Суммарные вариации месячных величин потерь тепла на испарение.
 В июне (а) и октябре (б) по ΔW_{\max} и $\Delta (l_s - l_a)_{\max}$; в июне (в) и октябре (г) по ΔW_{\min}
 и $\Delta (l_s - l_a)_{\min}$

равны $15-20$ ккал/см²мес. Полученные таким образом колебания составляющих уравнения теплового баланса совпадают с величинами, вычисленными Е. Г. Архиповой другим способом. По данным Е. Г. Архиповой, изменчивость месячных величин теплообмена составляет ± 2 ккал/см²мес, а для потерь тепла на испарение в северных районах океана — до 8 ккал/см²мес и в районе Гольфстрима — до 17 ккал/см²мес. Некоторые результаты данного исследования совпадают с выводами, полученными в работе Д. Л. Лайхтмана [5].

Выводы

1. Вариации месячных величин турбулентного теплообмена с атмосферой и потерь тепла на испарение, вычисленные по максимальным значениям гидрометеорологических элементов, получились наибольшие для корабля погоды Д, а наименьшие — для корабля погоды А.

2. По минимальным значениям исходных гидрометеорологических элементов получилось, что наибольшее отклонение имеет место и в районе Северо-Атлантического течения (корабль погоды Д), однако наименьшее отклонение имело место в районе корабля погоды С.

3. На изменчивость величин P и LE наибольшее влияние оказывают отклонения разности температуры воды и воздуха и соответственно дефицит влажности.

Отклонения же скорости ветра от средних значений составляют для максимальных значений 60—70%, а для минимальных — 10—20%.

4. Наиболее достоверными величинами вариации P и LE следует признать вариации, вычисленные по минимальным значениям гидрометеорологических величин.

5. Вариации P и LE , вычисленные по максимальным значениям, можно считать как предельно возможные в отдельно взятый момент времени.

6. Материалы по изменчивости основных компонент расходной части уравнения теплового баланса в различных районах Северной Атлантики могут быть использованы при выборе влияющих факторов для целей разработки методики долгосрочных прогнозов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Е. Г. Архипова. Межгодовые изменения теплового баланса в северной части Атлантического океана за последнее десятилетие. Тр. ГОИН, вып. 54, 1960.
2. Е. И. Серяков. Многолетние колебания составляющих теплового баланса незамерзающей части Баренцева моря. Тр. ЛГМИ, вып. 16. Исследования северной части Атлантического океана. Ст. II, Из-во ЛГУ, 1962.
3. Zur Klimatologie des Nordatlantischen Ozeans Faziteines Jahrzehnts (1951—1960) synoptischer Meldungen der atlantischen Wetterschiffe (in 3 Teilen) von Dr Carl Pflugbeil und Ernst Steiborn, Hamburg, 1963.
4. М. И. Бudyko, Л. С. Гандин. К определению турбулентного теплообмена между морем и атмосферой. Метеорология и гидрология, № 11, 1966.
5. Д. Л. Лайхтман. Некоторые закономерности теплового режима центральной Арктики. Тр. ААНИИ, т. 226, 1959.