

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<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
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

<b>В. В. Тимонов</b> . 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. Елеков.</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

<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;"><i>V. V. Timonov</i></span> . 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, <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;"><i>N. P. Moricheva</i></span></i> . Calculation of the saturation of calcium carbonate in the water of the Black Sea	250
--	-----

---

## СВЯЗЬ СОСТАВЛЯЮЩИХ ТЕПЛООВОГО БАЛАНСА СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКИ С АНОМАЛИЯМИ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОДЫ ЗА ХАРАКТЕРНЫЕ ГОДЫ

*Е. И. Серяков, А. И. Смирнова*

### Введение

Исследование закономерностей многолетних изменений теплового состояния морей и океанов является весьма сложной задачей. Сведения о тепловом балансе за отдельные годы могут принести несомненную пользу в этом вопросе. Из исследований, ведущихся в этом направлении, для Северной Атлантики можно отметить работы Е. Г. Архиповой [1] и В. М. Радикевича [2]. Данные Е. Г. Архиповой по тепловому балансу за конкретные годы широко используются для целого ряда океанологических задач.

Настоящее исследование посвящено уточнению величин теплового баланса Северной Атлантики за 1951—1960 гг. на основе более надежных исходных данных по кораблям погоды; делается также попытка перейти к анализу теплового баланса деятельного слоя океана. Под термически деятельным слоем понимался слой, на нижней границе которого годовые колебания температуры стремятся к нулю. В отличие от принятой многими авторами постоянной глубины деятельного слоя Северной Атлантики, равной 200 м, в данной работе взята переменная глубина. Причем было принято, что в этом деятельном слое изменение теплосодержания в первую очередь зависит от изменения температуры на поверхности. Этому вопросу было посвящено специальное исследование [3]. Глубина деятельного слоя для всех кораблей погоды снималась с карты, представленной в указанной работе.

Так как для расчета были использованы результаты наблюдений на кораблях погоды, расположенных в характерных районах Северной Атлантики, то анализ имеющихся данных должен проводиться с учетом местоположения кораблей относительно течений и гидрологических фронтов. Схема расположения кораблей погоды и основных течений представлена на рис. 1. Исходные данные по кораблям погоды имелись за 10 лет [4], однако для анализа были выбраны только три года.

Для выбора характерных лет использовались: таблица аномалий температуры воды на поверхности, полученная по данным кораблей погоды (табл. 1), и карты аномалий за каждый год с 1951 по 1960 г. Были подсчитаны суммы отрицательных и положительных аномалий, число точек (кораблей погоды) с положительными и отрицательными аномалиями и величины средних аномалий. Результаты расчетов представлены в табл. 2.

Таблица 1.

Аномалии средней годовой температуры воды на поверхности  
по кораблям погоды за 1951—1960 гг.

Корабли погоды	Годы									
	1951	1952	1953	1954	1955	1956	1957	1958	1959	1960
A	0,1	-0,3	-0,3	-0,4	-0,3	-0,9	0,2	0,7	-0,1	-0,6
B	0,1	0,4	0,3	0,5	0,3	-0,2	-0,1	-0,4	-0,3	-0,3
C	0,0	0,6	0,8	-0,3	0,3	0,2	-0,2	0,3	-0,8	-0,6
D	1,2	0,9	0,5	0,7	0,6	-0,9	-0,5	-0,4	-1,2	-0,9
E	0,6	0,6	0,7	0,3	-0,2	-0,5	-0,4	-0,3	-0,6	0,3
I	-0,4	-0,4	0,1	-0,5	0,1	-0,1	0,3	0,6	0,2	0,4
J	-0,5	-0,2	-0,1	-0,2	0,3	0,3	0,3	0,1	0,2	-0,4
K	-0,4	0,3	0,3	-0,2	3,5	-0,3	0,5	-0,2	0,2	-0,5
M	-0,4	-0,5	0,3	0,2	-0,0	-0,2	-0,2	-0,1	-0,1	0,7

Таблица 2

Данные для выбора характерных лет

Годы	Сумма отрицательных аномалий и число кораблей погоды, на которых наблюдались эти аномалии	Сумма положительных аномалий и число кораблей погоды, на которых наблюдались эти аномалии	Средние отрицательные аномалии	Средние положительные аномалии
1951	-1,7 4	2,0 5	-0,42	0,42
1952	-1,4 4	2,8 5	-0,35	0,56
1953	-0,4 2	3,0 7	-0,20	0,43
1954	-1,6 5	1,7 4	-0,32	0,42
1955	-0,8 3	2,1 6	-0,27	0,35
1956	-2,3 6	0,6 3	-0,38	0,20
1957	-1,3 5	1,3 4	-0,26	0,32
1958	-1,4 5	1,7 4	-0,28	0,42
1959	-3,1 6	0,6 3	-0,51	0,20
1960	-3,3 6	1,4 3	-0,55	0,47

На основе анализа вышеуказанных данных 1953 г. был отнесен к теплым годам, 1959 г. — к холодным и 1957 г. — к средним многолетним условиям. Вычисления элементов теплового баланса производились по

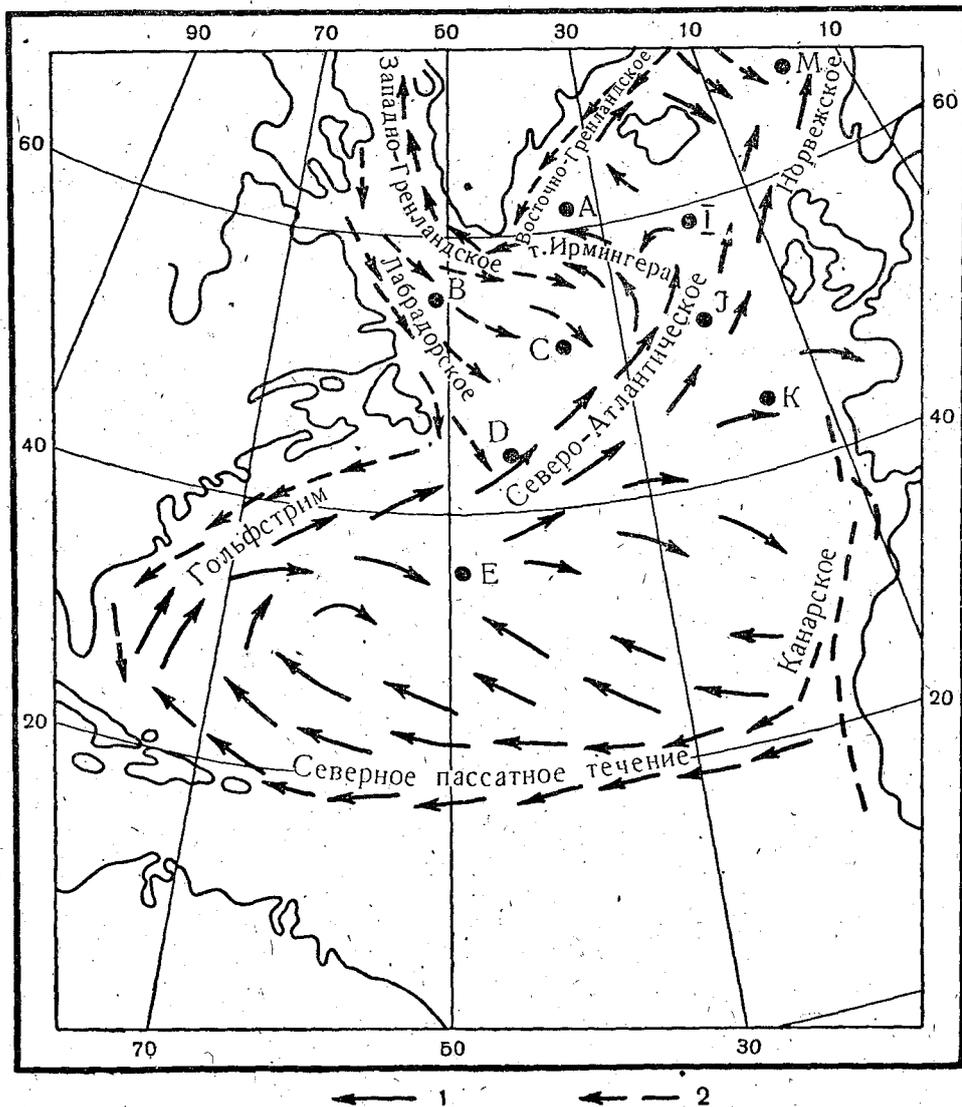


Рис. 1. Схема расположения кораблей погоды в Северной Атлантике.

уточненной методике расчета и использованием новейших климатологических данных.

#### Связь изменения теплосодержания с аномалиями температуры воды на поверхности

Отсутствие глубоководных наблюдений над температурой воды привело к необходимости использования при расчете изменения теплосодержания деятельного слоя океана косвенного метода Фритца. Связи изменения температуры воды на поверхности океана с изменением теплосо-

держания деятельного слоя были построены заново и для различных глубин деятельного слоя, так как применение для Северной Атлантики графиков Фритца, построенных для Тихого океана и слоя 100 м, приводит к существенным ошибкам [5]. В данной статье при расчете величины изменения теплосодержания использовались графики связи для 100 м, 200 м и 300 м. Зависимости были получены по средним многолетним данным, однако была проверена возможность использования полученных связей для отдельных лет. При сравнении снятых с графиков величин изменения теплосодержания с величинами, вычисленными по глубоководным данным, были получены довольно высокие коэффициенты корреляции (0,80—0,98). Эта проверка позволяет сделать вывод о том, что этими графиками связи можно пользоваться при вычислении изменения теплосодержания за отдельные годы.

Для расчета изменения теплосодержания за 1951—1960 гг. использовались данные изменения температуры воды на поверхности от месяца к месяцу по 9 кораблям погоды, взятые из [4]. В табл. 3 представлены величины изменения теплосодержания для 9 кораблей погоды за 1953 г., 1957 г. и 1959 г.

Для трех рассматриваемых лет были построены карты изменения теплосодержания для всех месяцев.

Таблица 3

Изменение температуры воды ( $\Delta t$ ) и изменение теплосодержания деятельного слоя ( $\Delta Q$ ) в ккал/см<sup>2</sup> от месяца к месяцу

Годы	Обозначения	Месяцы											
		I—II	II—III	III—IV	IV—V	V—VI	VI—VII	VII—VIII	VIII—IX	IX—X	X—XI	XI—XII	XII—I
Корабль погоды А													
1953	$\Delta t$	0,1	-0,4	-0,7	1,4	2,3	3,5	0,6	-2,7	-12,1	-0,7	-1,6	0,4
	$\Delta Q$	-0,4	-4,0	-6,2	-0,2	18,8	34,8	2,0	-10,0	-26,4	-3,2	-18,0	1,6
1957	$\Delta t$	-0,6	0,7	0,2	0,6	1,6	2,5	1,4	-2,0	-2,	-1,7	-0,	-0,1
	$\Delta Q$	-5,2	3,6	0,2	1,2	9,4	21,2	13,6	6,4	-24,8	-19,6	-4,8	-1,8
1959	$\Delta t$	0,3	-0,6	0,6	1,1	1,2	1,4	0,6	-0,8	-1,6	-1,6	-0,4	-0,1
	$\Delta Q$	0,8	-5,2	2,8	2,8	4,0	6,8	2,0	2,0	-18,0	-18,0	-4,0	-0,2
Корабль погоды В													
1953	$\Delta t$	-0,2	0,4	0,9	0,4	1,1	0,5	2,2	0,5	-0,9	-2,7	-1,0	-1,1
	$\Delta Q$	-2,6	1,2	6,0	0,0	6,0	0,8	18,8	10,8	0,8	-19,6	-8,0	-8,8
1957	$\Delta t$	-1,1	-0,3	1,2	0,2	2,4	1,2	2,2	0,4	-3,1	-2,3	-1,9	0,0
	$\Delta Q$	-9,0	-3,2	7,0	-1,2	12,6	5,0	19,0	10,0	-15,0	-17,0	-14,0	3,7
1959	$\Delta t$	-0,1	0,0	0,1	1,6	0,3	2,9	1,3	-1,1	-2,4	-1,7	-0,4	-0,6
	$\Delta Q$	-2,0	-1,2	0,4	7,2	-0,6	16,0	9,0	-0,8	-10,0	-24,0	-4,0	-2,1
Корабль погоды С													
1953	$\Delta t$	0,0	1,2	-1,3	1,5	1,5	0,4	0,8	-0,1	-1,5	-1,3	0,1	-3,8
	$\Delta Q$	-1,2	6,8	-10,0	-3,2	8,0	0,0	4,8	6,4	-16,4	-14,6	-0,4	-54,9
1957	$\Delta t$	0,1	2,2	-0,1	-0,2	0,9	2,4	1,0	0,5	-1,6	-2,0	-1,1	-0,7
	$\Delta Q$	-32,3	14,0	-2,0	-2,4	3,	20,0	14,8	10,4	6,4	-24,8	-10,0	-1,2
1959	$\Delta t$	-1,5	1,0	0,1	1,4	0,5	2,5	1,2	-0,1	-2,5	-1,3	-1,6	0,2
	$\Delta Q$	-19,0	-13,4	-13,4	6,8	0,6	21,2	17,6	16,0	-33,0	-14,6	-21,6	0,4
Корабль погоды Д													
1953	$\Delta t$	-0,5	-0,2	0,0	0,8	1,5	1,9	0,3	-0,7	-2,6	0,1	-1,1	-0,3
	$\Delta Q$	-4,6	-2,4	-1,2	-2,4	8,1	13,4	11,2	2,0	-24,8	-0,4	-9,6	-3,2
1957	$\Delta t$	-0,4	0,1	-0,1	0,8	1,7	1,5	0,6	-1,1	-1,5	-0,6	-0,2	-1,0
	$\Delta Q$	-4,0	-0,4	-2,0	2,4	11,0	8,0	2,0	1,2	-16,4	-5,6	-2,4	-8,0
1959	$\Delta t$	0,0	-0,1	-0,2	1,4	0,6	1,3	0,3	-0,2	-0,4	-1,7	-0,7	-0,4
	$\Delta Q$	-1,2	-2,0	-2,8	6,0	1,2	5,6	3,6	5,6	4,0	-20,0	-3,2	-4,0

Годы	Обозначения												
		I—II	II—III	III—IV	IV—V	V—VI	VI—VII	VII—VIII	VIII—IX	IX—X	X—XI	XI—XII	XII—I

## Корабль погоды Е

1953	$\Delta t$	-1,1	-1,4	1,5	4,1	0,4	2,6	1,5	-1,5	-1,7	-1,8	-0,4	-2,2
	$\Delta Q$	18,8	-25,2	-16,2	42,0	0,0	14,0	15,2	7,6	-20,0	-21,1	-4,0	-44,4
1957	$\Delta t$	0,3	-1,7	0,4	0,9	2,4	3,9	2,1	-1,1	-3,1	0,3	-2,3	-0,8
	$\Delta Q$	0,8	-12,8	1,6	3,0	20,0	39,6	24,0	23,2	-42,8	-0,8	-29,6	-4,8
1959	$\Delta t$	1,5	0,0	1,3	1,3	3,0	0,7	1,9	0,7	-1,7	-1,7	-0,5	-2,3
	$\Delta Q$	-16,4	-1,2	6,4	5,6	28,0	1,6	21,0	21,2	15,6	15,6	-4,8	-29,6

## Корабль погоды J

1953	$\Delta t$	-0,5	-0,2	0,0	0,8	1,5	1,9	0,3	-0,7	-2,6	0,1	-1,1	-0,3
	$\Delta Q$	-4,6	-2,4	-1,2	-2,4	8,0	13,4	11,2	2,0	-34,8	-0,4	-9,6	-3,2
1957	$\Delta t$	-0,4	0,1	-0,1	0,8	1,7	1,5	0,6	-1,1	-1,5	-0,6	-0,2	-1,0
	$\Delta Q$	-4,0	-0,4	-2,0	2,4	11,0	8,0	2,0	1,2	-16,4	-5,6	-2,4	-8,0
1959	$\Delta t$	0,0	-0,1	-0,2	1,4	0,6	1,3	0,3	-0,2	-0,4	-1,7	-0,7	-0,4
	$\Delta Q$	-1,2	-2,0	-2,8	6,0	1,2	5,6	3,6	5,6	4,0	-20,0	-3,2	-4,0

## Корабль погоды I

1953	$\Delta t$	0,0	0,1	-0,2	1,2	1,0	1,1	0,2	-0,3	-1,0	-1,2	-0,3	-0,7
	$\Delta Q$	-1,2	-1,6	-2,4	4,8	1,6	2,8	-0,4	4,8	-8,0	-11,2	-3,2	-3,2
1957	$\Delta t$	-0,2	-0,3	0,4	0,5	2,1	1,0	-1,2	-1,1	-0,8	-1,6	-0,7	-0,9
	$\Delta Q$	-2,4	-3,2	1,6	0,8	16,0	1,6	-16,8	-20,6	-4,8	-18,0	-3,2	-7,4
1959	$\Delta t$	-0,5	0,1	-0,3	1,6	0,5	2,1	0,6	0,2	-2,0	-1,7	-1,5	-0,5
	$\Delta Q$	-4,8	-0,6	-3,2	7,2	1,2	16,0	11,2	8,4	-7,6	-20,0	-16,4	-4,8

## Корабль погоды K

1953	$\Delta t$	0,1	0,0	0,0	1,3	2,3	1,7	1,4	-0,6	-2,5	-1,3	-1,1	-0,7
	$\Delta Q$	-0,6	-1,2	-1,2	5,6	18,8	11,0	13,6	6,4	-33,0	-13,0	-9,6	-3,2
1957	$\Delta t$	-0,1	-0,1	0,5	1,2	1,4	0,9	1,6	-0,2	-1,5	-0,5	-0,2	-1,0
	$\Delta Q$	-0,6	5,0	6,4	2,0	22,8	12,0	10,8	8,0	-4,4	-36,0	-9,4	-18,0
1959	$\Delta t$	-0,2	-0,3	0,0	1,4	2,0	2,7	0,8	0,4	-2,0	-2,4	-2,4	-0,7
	$\Delta Q$	-2,4	-3,2	-1,2	6,8	14,8	24,0	13,0	10,0	-24,8	-31,2	-13,2	-3,2

## Корабль погоды M

1953	$\Delta t$	-0,6	0,3	-0,1	1,0	2,7	2,8	0,9	-2,0	-2,1	-1,5	-0,3	-0,7
	$\Delta Q$	-8,8	0,8	-2,0	3,6	24,0	25,0	6,4	-7,2	-26,4	-16,4	-3,2	-3,2
1957	$\Delta t$	-0,4	0,1	0,5	0,7	1,3	1,7	1,3	-0,8	-2,0	1,3	-0,5	-0,6
	$\Delta Q$	-4,0	-3,6	2,0	1,6	5,6	10,8	5,6	-2,2	-24,8	-13,0	-4,6	-5,2
1959	$\Delta t$	0,3	0,1	0,0	1,5	1,0	1,3	1,3	-0,4	-1,0	-1,6	-0,8	-0,6
	$\Delta Q$	0,8	-0,4	-1,2	6,8	4,0	5,6	12,0	7,2	-8,0	-18,0	-1,2	-1,2

На рис. 2 а, б, в, г, д, е представлены карты  $\Delta Q$  за февраль и август 1953, 1957 и 1959 гг. Для большинства районов Северной Атлантики февраль является последним месяцем зимнего охлаждения и распределение изменения теплосодержания в известной мере должно формировать последующие аномалии температуры воды. В августе обычно кончается прогрев и изменение теплосодержания должно влиять на температурную аномалию первой половины следующего года. Это подтвердилось при рассмотрении  $\Delta Q$  за каждый год. Однако необходимо отметить, что изменение теплосодержания в первую половину года должно зависеть также от температурного фона предыдущего года. К примеру, 1953 г. получился аномально теплым, однако величины  $\Delta Q$  в феврале были незначительно больше, чем в 1957 и 1959 гг., считавшимся нормальным и холодным, потому что 1952 г. являлся также довольно теплым.

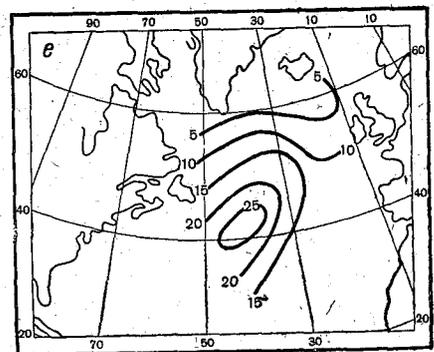
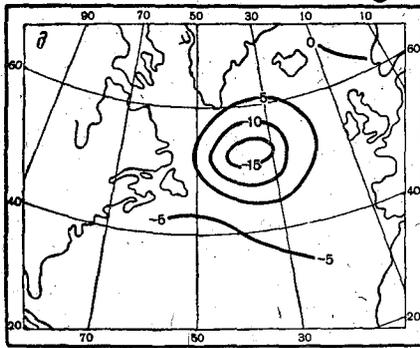
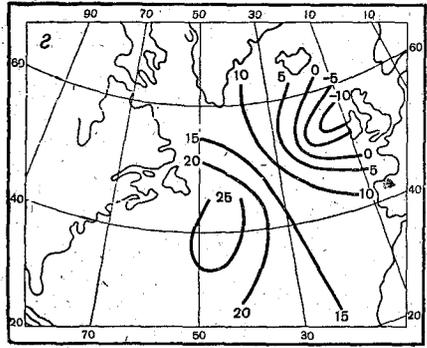
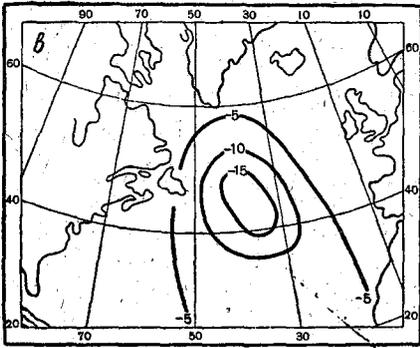
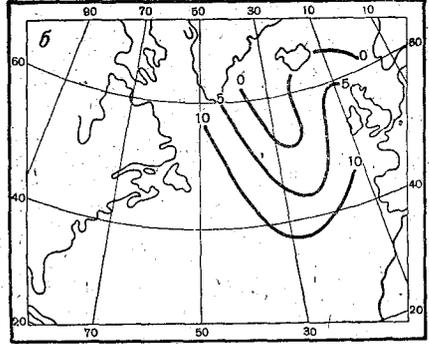
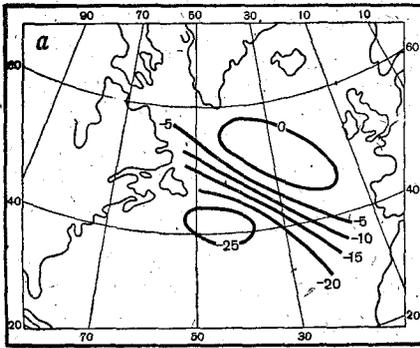


Рис. 2. Изменение теплосодержания деятельного слоя.

*а* — февраль 1953 г.; *б* — август 1953 г.; *в* — февраль 1957 г.; *г* — август 1957 г.; *д* — февраль 1959 г.;  
*е* — август 1959 г.

1956 г. был незначительно холоднее 1957 г. и поэтому вполне объяснимо, что величины  $\Delta Q$  за февраль, хотя и получились отрицательными для всей акватории, но были невелики по абсолютной величине. В 1958 г. большая часть площади Северной Атлантики занята отрицательными аномалиями, и в 1959 г. на всей акватории наблюдались в феврале незначительные отрицательные величины  $\Delta Q$  — от  $-5$  ккал/см<sup>2</sup>мес до  $-10$  ккал/см<sup>2</sup>мес.

Летняя картина распределения теплосодержания может влиять на аномалии следующего года, особенно его первой половины. В августе теплого 1953 г. были получены незначительные положительные величины  $\Delta Q$ , это объясняется тем, что 1954 г. был холоднее 1953 г. Значительные величины изменения теплосодержания в августе 1957 г. в известной мере формируют более теплый температурный фон следующего 1958 г. 1960 г. был относительно холодным, но несколько теплее 1959 г., что вполне согласуется с значительными положительными величинами изменения теплосодержания.

Приведенное сопоставление позволяет сделать вывод о том, что между изменением теплосодержания в конце периодов охлаждения и нагревания и аномалиями температуры на поверхности наблюдается связь. Однако представляет интерес проследить, как связаны годовые суммы изменения теплосодержания с распределением аномалий температуры воды следующего года. Для этой цели за характерные годы были рассчитаны средние величины изменения теплосодержания за месяц по широтным зонам ( $70-60^\circ$  с. ш.  $60-50^\circ$  с. ш.,  $50-40^\circ$  с. ш.,  $40-32^\circ$  с. ш. в ккал/см<sup>2</sup>). Полученные месячные величины суммировались за год ( $\Sigma\Delta Q_\phi$ ). Отношение  $\Sigma\Delta Q_\phi$  к амплитуде средней величины изменения теплосодержания ( $A_{\Delta Q}$ ) представлено в процентах.

Таблица № 4

Значения  $\Sigma\Delta Q_\phi$ ,  $A_{\Delta Q}$  и  $\frac{\Sigma\Delta Q_\phi}{A_{\Delta Q}}$

Годы	$\phi$	$\Sigma\Delta Q$		$\Sigma\Delta Q_\phi$	$A_{\Delta Q}$	$\frac{\Sigma\Delta Q_\phi}{A_{\Delta Q}}$ , %
		$\Sigma(-\Delta Q)$	$\Sigma(+\Delta Q)$			
1953 (теплый)	$70-60^\circ$ с. ш.	-56,40	52,84	-3,56	38,71	9,20
	$60-50$	-47,19	25,96	-21,23	20,46	104,00
	$50-40$	-66,91	46,02	-20,98	30,80	87,60
	$40-32$	-86,04	65,74	-20,30	38,00	72,00
1957 (нормальный)	$70-60$	-45,40	37,60	-7,80	32,34	24,20
	$60-50$	-48,36	32,90	-15,46	24,60	63,40
	$50-40$	-81,30	73,43	-7,87	51,84	15,20
	$40-32$	-76,65	94,10	17,45	48,24	36,20
1959 (холодный)	$70-60$	-32,20	21,02	-11,18	17,72	62,53
	$60-50$	-53,38	32,04	-21,34	26,08	81,70
	$50-40$	-64,82	63,75	-1,07	37,50	2,86
	$40-32$	-56,16	62,38	6,22	33,71	18,40

Из таб. 4 видно, что для всех трех лет характерны наибольшие отрицательные значения суммарного изменения теплосодержания в широтной зоне  $60-50^\circ$  с. ш. К югу отрицательные величины  $\Sigma\Delta Q_\phi$  уменьшаются в 1957 и 1959 гг. и достигают положительных значений в зоне  $40-32^\circ$  с. ш. Полученная картина может быть объяснена тем фактором, что в северных широтах среднегодовой расход тепла через поверхность должен компенсироваться притоком тепла из глубин, а в южных широтах в некоторых районах — оттоком тепла в глубину.

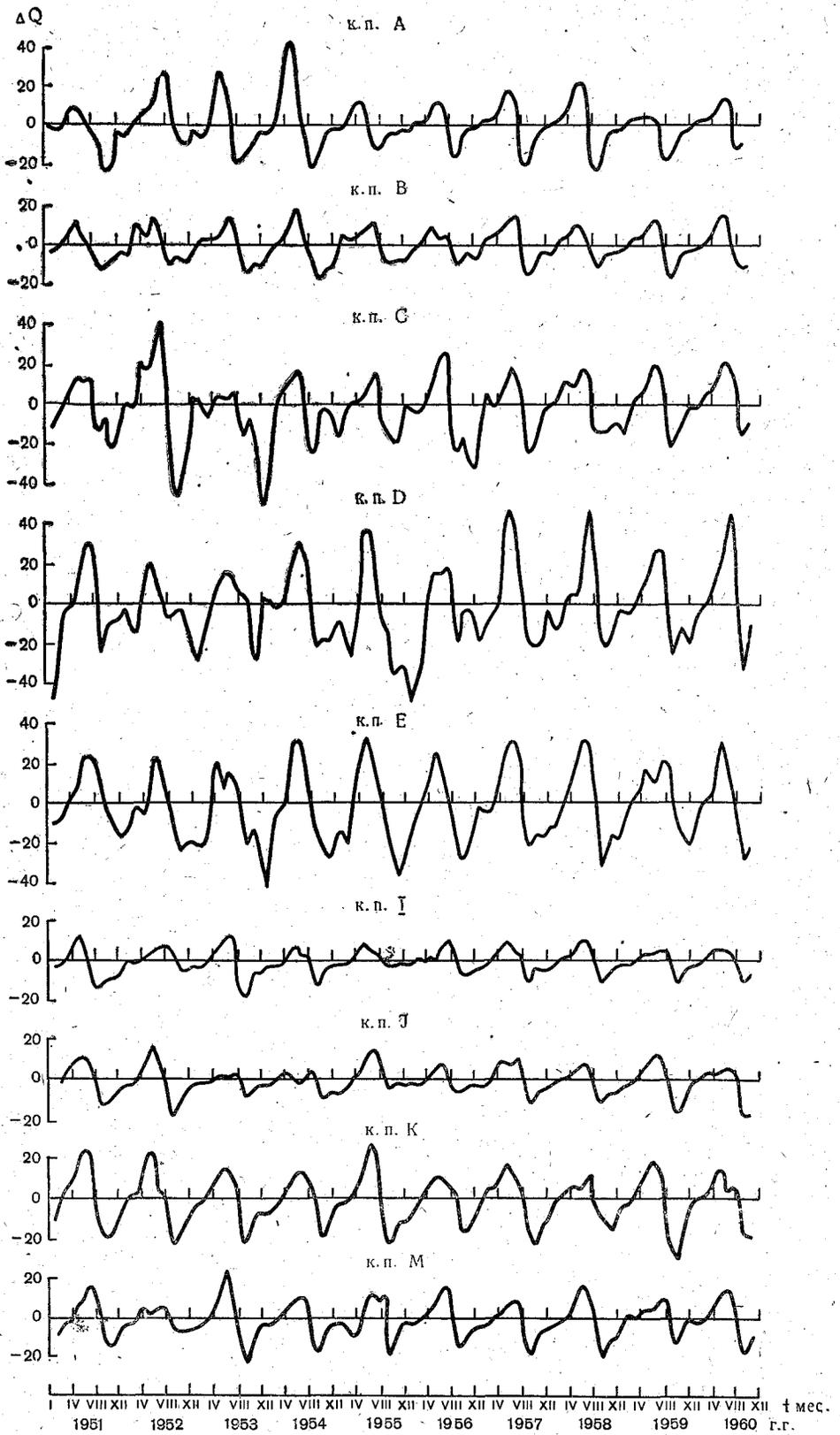


Рис. 3. Междугодовой ход изменения теплосодержания по кораблям погоды Северной Атлантики.

Сравнение годовых значений изменения теплосодержания и аномалий температуры воды на поверхности за следующий год было проведено по широтным зонам. В результате проведенного анализа было отмечено, что сумма изменения теплосодержания за год (теплооборот) довольно тесно связана с температурным режимом следующего года и некоторые отклонения можно объяснить тем, что  $\Sigma \Delta Q_{\phi}$  формирует температурные аномалии в первую половину года, а анализ производился по средним годовым картам аномалий.

Изменчивость  $\Delta Q$  с 1954 по 1960 г. рассматривались отдельно.

Корабли погоды расположены в характерных точках, определяющих режим довольно большого района, но они могут быть объединены в отдельные группы, отличающиеся общими чертами гидрологического режима. Соответственно и в ходе изменения теплосодержания (рис. 3) для кораблей, входящих в одну группу, должны наблюдаться общие закономерности. Таким характерным признаком являются величины максимума и минимума и время их наступления. Корабли погоды А, В и С характеризуются почти одновременным наступлением экстремальных значений (июнь—июль и сентябрь—октябрь) (средняя величина 25—30 ккал/см<sup>2</sup>мес.) Корабль погоды Д, расположенный к юго-западу от корабля С, имеет аналогичный годовой ход  $\Delta Q$ , но минимум выражен менее четко, а экстремальные значения по абсолютной величине в среднем больше 30 ккал/см<sup>2</sup>мес. Для кораблей погоды I и J, расположенных северо-восточнее, годовой ход  $\Delta Q$  сглажен, экстремальные значения не превышают 18—20 ккал/см<sup>2</sup>мес.

Значения изменения теплосодержания для корабля погоды Е, занимающего самое южное положение, изменяются в больших диапазонах, максимум наступает в июне—июле, экстремальные значения — около 30 ккал/см<sup>2</sup>мес. Для корабля погоды М, находящегося в Норвежском течении, экстремальные значения наблюдаются одновременно с кораблями погоды А, В и С. Максимум  $\Delta Q$  для корабля погоды К, расположенного южнее и в безадвективном районе, наблюдается несколько раньше (май—июнь), а минимум — в сентябре—октябре. Величины максимума и минимума в среднем около 20 ккал/см<sup>2</sup>мес.

В итоге можно отметить, что для кораблей, расположенных в западной части Северной Атлантики, экстремальные значения  $\Delta Q$  по абсолютной величине больше, чем для кораблей, расположенных в восточной части. Максимальные величины наблюдаются несколько раньше для южной группы кораблей.

Для всех кораблей погоды характерно, что момент перехода от теплонакопления к теплоотдаче и, наоборот, сдвинут назад по отношению к максимуму и минимуму температуры на поверхности на  $1/2$ —1 месяц и больше. Обычно время сдвига зависит от величины изменения температуры за предыдущие месяцы. Чем больше величина изменения температуры от месяца к месяцу, тем больше сдвиг во времени.

### Радиационный баланс и его связь с аномалиями температуры воды на поверхности

Величины радиационного баланса были рассчитаны по формуле:

$$R = (Q + q)(1 - an - bn^2)(1 - a) - S\sigma\theta^4(A - Be)(1 - cn) - 4S\sigma\theta^3(\theta_w - \theta) \frac{\text{ккал}}{\text{см}^2\text{мес}}$$

и построены графики годового хода  $R$  и температуры воды на поверхности с 1951 по 1960 г. На рис. 4 представлен годовой ход только за характерные годы.

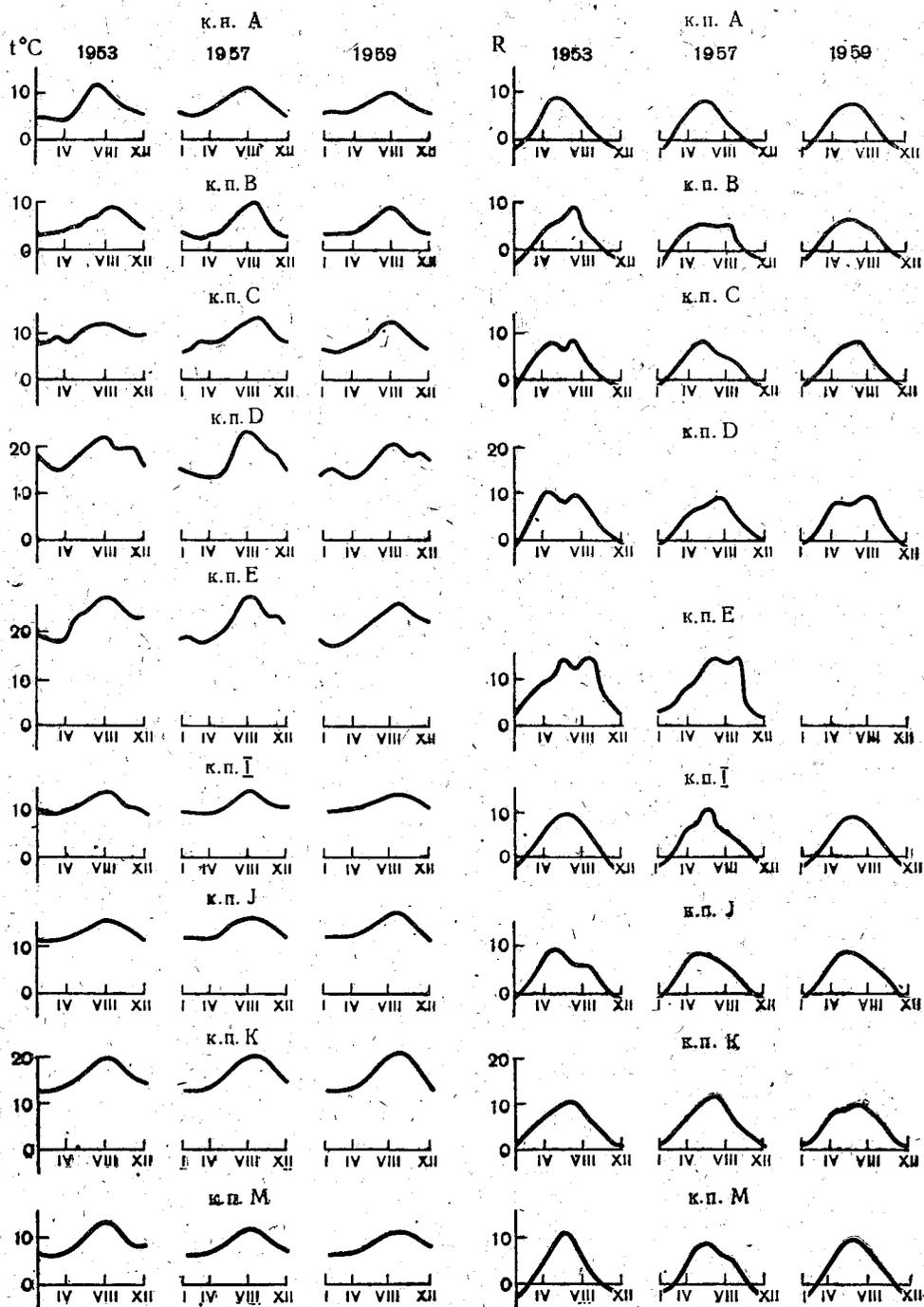


Рис. 4. Изменчивость месячных величин радиационного баланса и температуры воды на поверхности.

При анализе все корабли погоды можно разделить на две группы: северную, в которую входят корабли погоды А, В, I, J и М, и южную — корабли погоды Д, Е, С, К. Для кораблей, расположенных в северных широтах, максимальные величины радиационного баланса наблюдались в июне, а максимальные значения температуры воды на поверхности — в августе. Следовательно, сдвиг во времени равен двум месяцам. Минимальные величины  $R$  наблюдались в декабре, январе, а минималь-

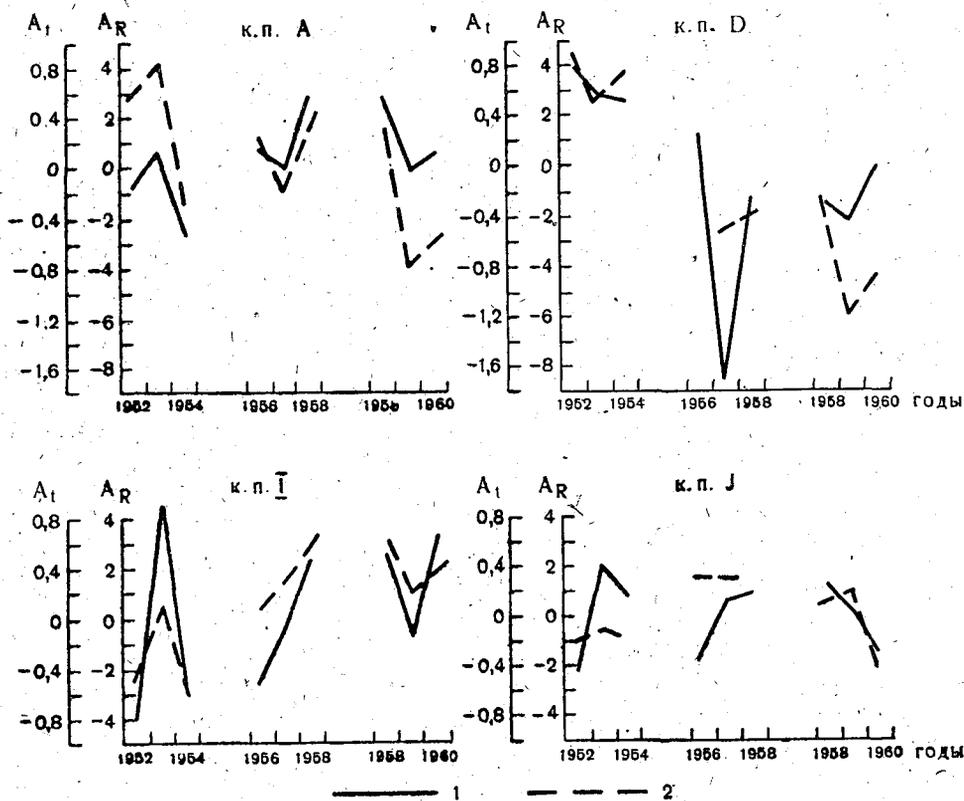


Рис. 5. Изменчивость годовых аномалий радиационного баланса (1) и температуры воды на поверхности (2).

ные температуры воды на поверхности — в феврале — апреле, следовательно, сдвиг во времени равен двум — четырем месяцам. Переход величин  $R$  через нуль наблюдается в феврале — марте, а осенью — в октябре. Для южной группы максимальные величины радиационного баланса наблюдаются в июле, максимум температуры воды — в августе — сентябре, минимум  $R$  — в декабре, а минимум температуры воды — в феврале — мае. Переход через нуль весной происходит в январе — феврале, а осенью — в ноябре — что для кораблей погоды С и Д, а для кораблей погоды К и Е имеет место положительный радиационный баланс в течение всего года. Следовательно, можно отметить, что в отличие от изменения теплосодержания максимум  $R$  наступает раньше у северной группы кораблей, а минимум — одновременно. Температурный максимум сдвинут по отношению к максимуму  $R$  на севере на два месяца, на юге — на один месяц.

По данным  $R$ , за отдельные годы были построены интегральные кривые отклонений радиационного баланса от нормы, полученной за

10 лет, и вычислены величины суммарных отклонений за год. Была сделана попытка определить, как связаны годовые величины аномалий радиационного баланса с аномалиями температуры воды на поверхности. Для этого были построены и проанализированы графики годовых величин аномалий радиационного баланса и аномалий температуры воды за характерные и смежные с ними годы. Графики для кораблей погоды А, I, J и Д представлены на рис. 5. Как видно из рисунка, в отличие от  $\Delta Q$ , которое формирует аномалии температуры следующего года, аномалии  $R$  тесно связаны с отклонением от нормы температуры воды за этот же год. Подобная связь характерна для всех кораблей погоды.

### Связь теплового баланса поверхности с аномалиями температуры воды

Тепловой баланс рассчитывался по формуле:

$$T = R \pm P \pm LE,$$

где  $R$  — радиационный баланс;  $P$  — теплообмен с атмосферой;  $LE$  — потери тепла на испарение. Значения  $P$  и  $LE$  рассчитывались по уточненной методике ГГО[7].

По результатам выполненных расчетов за характерные годы были построены карты. При сравнении с годовыми аномалиями температуры воды на поверхности можно отметить следующие особенности.

Для января в среднем по площади Северной Атлантики наибольшие отрицательные величины теплового баланса наблюдались в 1959 году, а наименьшие — в 1953 г. Однако, для отдельных кораблей погоды имеются исключения, так, например, максимальная отрицательная величина  $T$  из трех рассмотренных лет наблюдалась в 1957 г. для корабля погоды Д и была равна  $-39,2$  ккал/см<sup>2</sup> мес.

В июне в среднем для всей площади Северной Атлантики наибольшие положительные величины получались для 1953 г., в 1957 г. тепловой баланс незначительно отличался от величин, полученных в 1953 г., в среднем наблюдался наибольший расход тепла. Максимальная величина  $T$ , равная  $11,2$  ккал/см<sup>2</sup> мес, получилась в 1953 г. для корабля погоды В.

В результате проведенного анализа можно сделать вывод о том, что величины теплового баланса и аномалии температуры воды на поверхности для одного и того же года неплохо согласуются между собой.

В данной статье наибольшее внимание было уделено анализу величин изменения теплосодержания потому, что этой составляющей теплового баланса деятельного слоя в ранее выполненных работах не уделялось достаточного внимания. В дальнейшем предполагается провести сопоставление аномалий всех составляющих уравнения теплового баланса Северной Атлантики с аномалиями температуры воды на поверхности за длительный ряд лет.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Е. Г. Архипова. Межгодовые изменения теплового баланса в северной части Атлантического океана за последнее десятилетие. Тр. ГОИН, вып. 54, 1960.
2. В. М. Радикевич. Опыт применения новой методики расчета составляющих теплового баланса к северной части Атлантического океана. Тр. ЛГМИ, вып. 20, 1965.
3. А. И. Смирнова. О глубине деятельного слоя Северной Атлантики. Тр. ЛГМИ, вып. 24, 1967.

4. Zur Klimatologie des Nordatlantischen Ozeans Fazit eines Jahrzehnts (1951—1960 гг.) synoptischer Meldungen der atlantischen Wetterschiffe (in 3 Teilen) von Dr Carl Pflugbeil und Ernst Steinborn, Hamburg, 1963.
  5. А. И. Смирнова, Л. А. Строкина. «Зависимости между теплосодержанием деятельного слоя Северной Атлантики и температурой воды на поверхности». «Океанология», № 3, 1969.
  6. Т. Г. Берлянд. Методика климатологических расчетов суммарной радиации. Метеорология и гидрология, № 6, 1960.
  7. Л. А. Строкина. Тепловой баланс океанов. Тр. ГГО, вып. 133, 1963.
-