

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>1/16</sup>.  
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. Балуева, В. Н. Веретенников.</i> К теории нестационарных чисто дрейфовых течений в океане	16
<i>А. С. Балуева, 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. Rekhzamer</i> . Use of satellites for oceanological investigations	230
<i>A. V. Provorkin, G. R. Rekhzamer</i> . Decoding of ice photographs made by means of meteorological satellites	239

### Part second. CHEMICAL SEA-AIR INTERACTION

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

# ФОРМИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В РЕАЛЬНЫХ ОКЕАНАХ И МОРЯХ

## ОЧАГИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ОКЕАНА И АТМОСФЕРЫ

В. В. Тимонов

Процессы взаимодействия океана и атмосферы имеют в разных районах океана весьма различную интенсивность. Поля компонент энерго- и влагообмена через поверхность океана почти всегда обнаруживают, наряду со значительными инертными или малодейственными пространствами, отдельные особо активные области. Они могут быть названы «очагами взаимодействия океана и атмосферы». По-видимому, в этих очагах происходит решающий обмен энергией между подвижными оболочками Земли и потому изменения деятельности очагов должны быть показательными, а в некоторой мере и определяющими для крупномасштабных изменений состояния системы океан — атмосфера. Следовательно, очаги взаимодействия океана и атмосферы заслуживают внимательного изучения, в особенности в интересах развития путей долгосрочного предсказания процессов в атмосфере и в океане.

В первую очередь надо выявить расположение очагов и их функции, а в дальнейшем изучить изменчивость их положения и деятельности. Все это должно стать основой той «географии и климатологии взаимодействия океана и атмосферы», без которой немислимо эффективное прикладное использование успехов физики мелко- и крупномасштабного взаимодействия атмо- и гидросферы [1]. В настоящей статье на примере Северной Атлантики освещается попытка наметить некоторые конкретные пути к поставленной цели.

Естественно, прежде всего возникает мысль о картографическом выражении суммарного воздействия одной среды на другую, точнее о картах итогов их взаимодействия, подведенных раздельно для атмосферы и для океана.

В отношении атмосферы эта мысль возвращает нас к известным работам Джекобса [2], который уже сделал это, построив 1) карты тепла, отдаваемого океаном атмосфере, и 2) карты используемого атмосферой тепла океана. Первые из этих карт были им построены путем суммирования затрат тепла на испарение с турбулентным теплообменом, а для построения вторых используемое атмосферой тепло океана принималось равным сумме турбулентного теплообмена и теплоты конденсации водяного пара, рассчитанной по суммам осадков.

\* Основное содержание статьи доложено на II Международном океанографическом Конгрессе (Москва, 1966) на секционном заседании.

Рис. 1 и 2 воспроизводят подобные, две карты, построенные нами для Северной Атлантики тем же путем, но по более новым и, видимо, более детальным средним многолетним данным. Так, величины турбулентного теплообмена и затрат тепла на испарение-снимались в 50 точках с соответствующих месячных карт Атласа теплового баланса земного шара [3], а суммы осадков — с месячных карт осадков, составленных Л. А. Жуковым [4]. Карты строились для каждого сезона и за год. Воспроизводятся только годовые. Все расчеты и построение карт выполнил студент ЛГМИ тов. Карауловский.

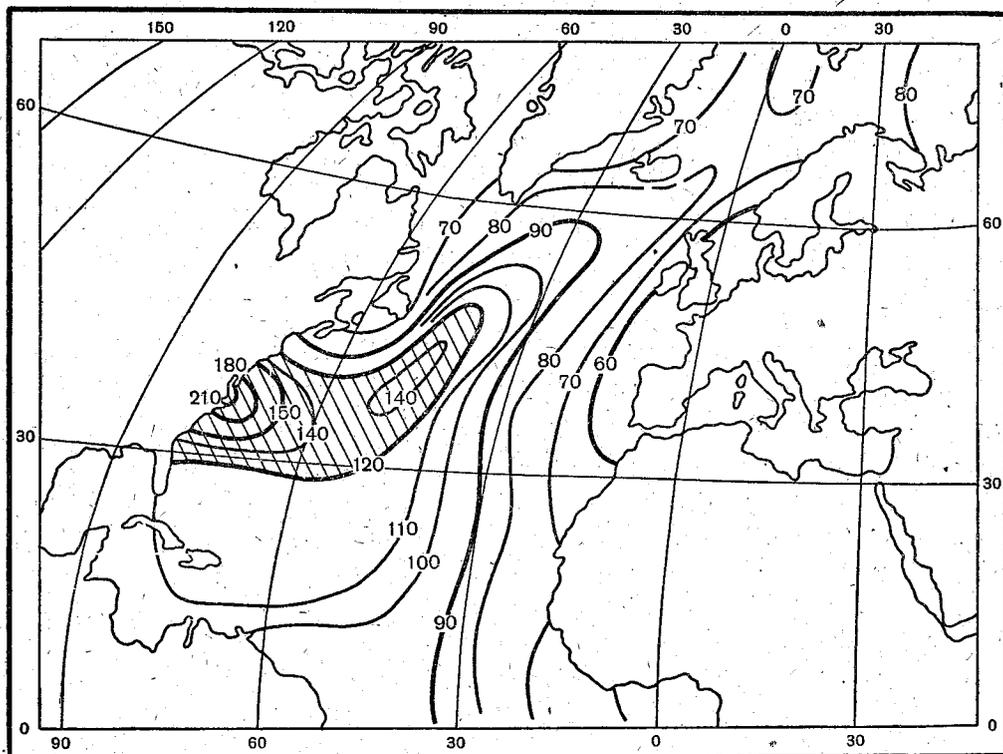


Рис. 1. Схематическая карта средних многолетних годовых сумм тепла, отдаваемого океаном атмосфере ( $\text{ккал}/\text{см}^2$  в год).

Суммарное тепловое воздействие океана на атмосферу (рис. 1) обнаруживает в пределах Северной Атлантики действительно разительные пространственные различия. Даже на неизбежно сглаженной средней многолетней картине наибольшая величина  $215 \text{ ккал}/\text{см}^2$  в год, у м. Гатераса превышает наименьшую —  $47 \text{ ккал}/\text{см}^2$  в год, перед входом в Бискайский залив — почти в пять раз! Четко обрисовывается очаг отдачи тепла, примакающий между  $30$  и  $40^\circ$  с. ш. к материку Америки и вытягивающийся на ССВ (на рисунке он заштрихован). В пределах этого очага, занимающего немногим более  $10\%$  площади Северной Атлантики, океан отдает атмосфере почти четверть тепла, поступающего в атмосферу со всей акватории Северной Атлантики.

Формирование очага явно связано с большими скоростями ветра и с распространением поступающего с материка холодного воздуха над теплыми водами Гольфстрима и Североатлантического течения, непрерывно и интенсивно возобновляющего убыль тепла адвекцией его с юга.

Летом очага теплоотдачи нет. Вообще же пространственные различия теплоотдачи между западом и востоком сохраняются в этих широтах Северной Атлантики во все сезоны (табл. 1).

Таблица 1

Крайние значения количества тепла, отдаваемого атмосфере океаном (ккал/см<sup>2</sup>)

Сезоны	Максимум — у мыса Гатерас	Минимум — перед Бискайским заливом	Отношение максимума к минимуму
XII—II	88	16	5,5
III—V	50,5	9,5	5,3
VI—VIII	19,5	6,5	3,0
IX—XI	57	15	3,8
Год	215	47	4,6

На карте используемого атмосферой тепла (рис. 2) локальные различия его величин еще гораздо резче, чем на только что рассмотренной. Очаг используемого тепла, расположенный соответственно распределению осадков в приэкваториальной зоне, занимает ее всю, от одного материка до другого. Главный максимум лежит у берегов Южной Америки — 217 ккал/см<sup>2</sup> в год. Эта величина превышает наименьшую (в зоне минимума у Канарских островов — 21 ккал/см<sup>2</sup> в год) в десять раз! Если за приэкваториальный очаг принять область, ограниченную изолинией 100 ккал/см<sup>2</sup>, то окажется, что здесь на одной четверти площади Северной Атлантики атмосфера использует 40% тепла, утилизируемого ею на всем пространстве Северной части Атлантического океана. Примечательно, что и вне очагов в менее деятельных широтах значительные различия между западом и востоком сохраняются. У берега Северной Америки и в Девисовом проливе обнаруживаются даже небольшие очаги.

Некоторое представление о сезонных изменениях локальных различий процесса дает табл. 2. Количество используемого в очаге тепла больше всего весной, меньше всего осенью, когда оно уменьшается в 7 раз. Отношение максимума к минимуму тоже очень сильно изменяется — осенью оно всего около 2,5, а весной более 20!

Таблица 2

Крайние значения количества океанского тепла, используемого атмосферой (ккал/см<sup>2</sup>)

Сезоны	Максимум — на 5° с. ш. у Ю. Америки	Минимум — у Канарских островов	Отношение максимума к минимуму
XI—III	44,5	6,5	6,8
III—V	88	4,3	20,2
VI—VIII	71,5	4,7	15,2
IX—XI	13	5,5	2,4
Год	217	21	10,3

Естественно представило еще интерес сопоставление общей суммы тепла, отдаваемого атмосфере со всей акватории Северной Атлантики (см. рис. 1) с суммой тепла, используемой атмосферой в ее пределах (см. рис. 2). Последняя составила около 90% первой.

Попробуем теперь наметить пути картографического показа и анализа того влияния, какое взаимодействие гидро-и атмосферы оказывает на океан.

Обратимся сначала к тепло-и влагообмену через поверхность океана. Оба эти процесса изменяют плотность вод его верхнего слоя. Если условно принять толщину этого слоя одинаковой по всей акватории океана и вычислить годовые изменения плотности вод этого слоя, то характе-

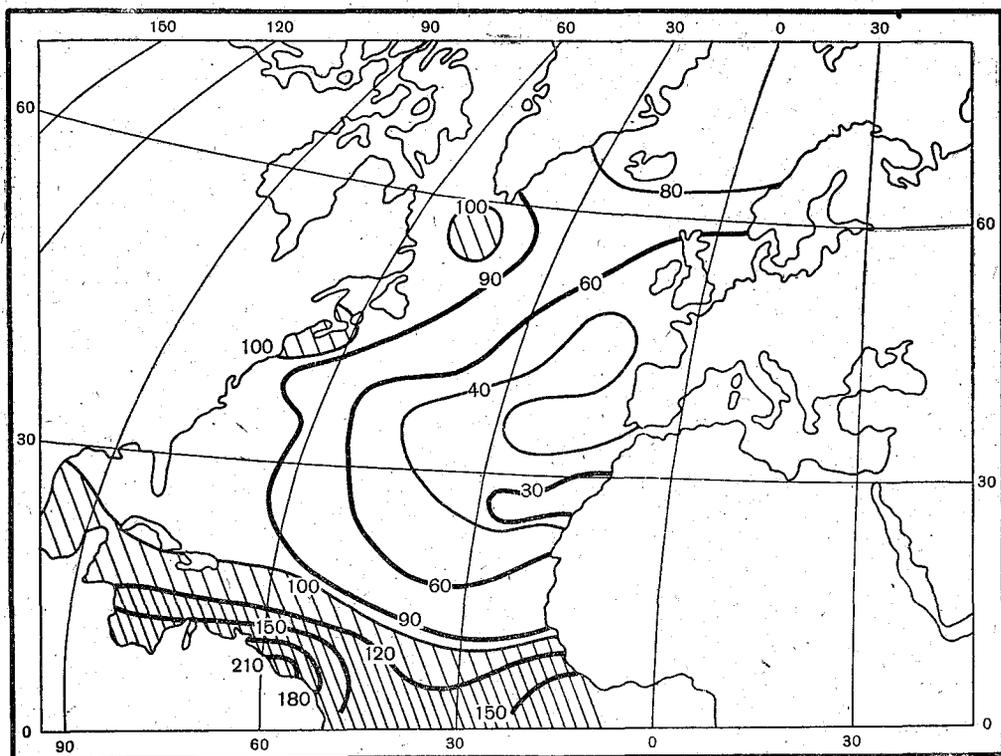


Рис. 2. Схематическая карта средних многолетних годовых сумм используемого атмосферой тепла, поступающего из океана (ккал/см<sup>2</sup> в год).

ристика влияния тепло-и влагообмена на этот процесс будет получена в чистом виде. Это и было сделано. Приняв условно деятельный слой океана стометровым, по месячным суммам потерь тепла поверхностью океана вычислили для тех же использованных выше 50 точек изменения средней температуры слоя за холодный сезон (сентябрь-февраль). Далее, по годовой разности испарения и осадков определили изменение средней солености слоя, после чего рассчитали итоговое изменение среднего удельного объема его вод. Адвекция тепла и солей, естественно, во внимание не принималась, чтобы не затушевывать картину влияния тепло-и влагообмена через поверхность океана. Радиационный баланс в данном расчете учитывался. Все указанные вычисления были сделаны студентом ЛГМИ тов. Недогарко.

Полученная в итоге схематическая карта (рис. 3) очень любопытна. На большей части акватории Северной Атлантики тепло-и влагообмен приводит к увеличению удельного объема вод поверхностного слоя и только в низких широтах — к уменьшению, у берегов Африки довольно значительному.

В прилегающей к Америке части океана ярко вырисовывается очаг

весьма интенсивного уплотнения вод. Контуры очага (изолиния минус 1) близки к очертаниям очага отдачи тепла на рис. 1. В ядре очага увеличение плотности более чем в 4 раза превосходит среднюю для всей акватории скалярную величину приращения плотности.

Причина пространственного преобладания уплотнения поверхностных вод, равно как и формирования очага этого процесса на западе океана, понятна. Большую роль играет в этом испарение и, в частности, тем что оно участвует в увеличении плотности поверхностных вод дважды:

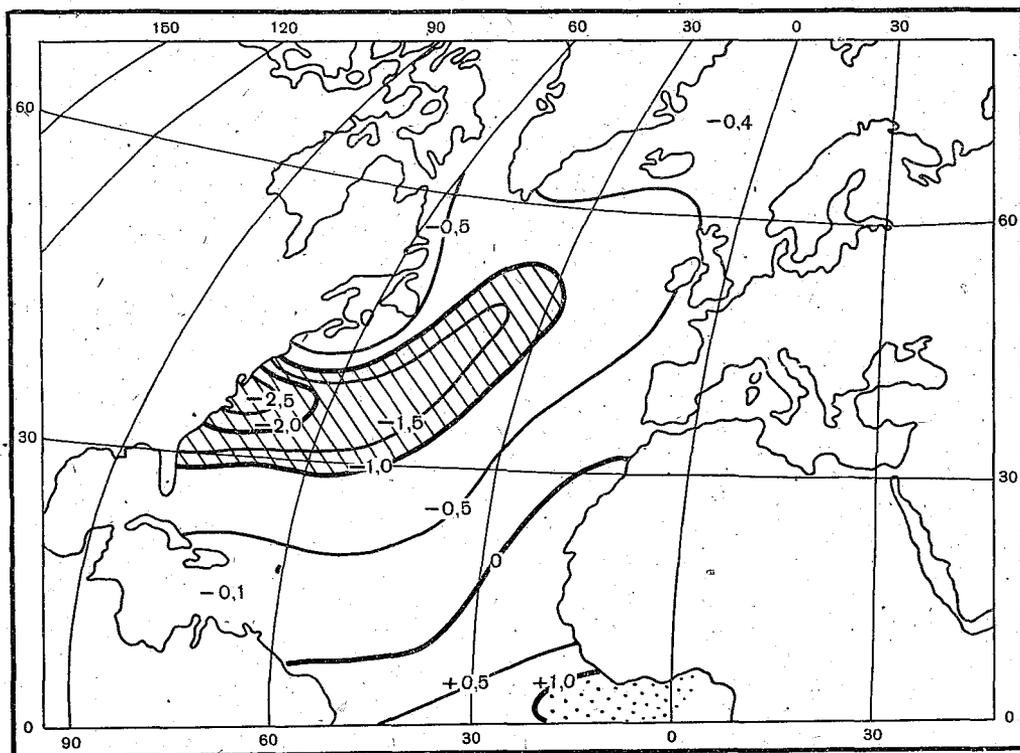


Рис. 3. Схематическая карта средних многолетних годовых величин изменения условного удельного объема деятельного слоя океана  
Толщина слоя принята повсеместно равной 100 м, перемешивание полным.

через охлаждение и через осолонение (последнее, отметим кстати, следовало бы вводить в расчет конвективного перемешивания).

Рассмотренное воздействие на океан процессов тепло- и влагообмена через его поверхность оказалось, таким образом, значительным и, что особенно важно отметить, горизонтально неоднородным, с четко выраженным очагом. Но, как и в атмосфере, главные следствия тепло- и влагообмена через поверхность океана возникают не там, где влияние этого обмена максимально, а там, где океан способен глубоко реагировать на него. Проникновение конвективного перемешивания на большую глубину становится возможным лишь при оптимальном сочетании достаточной отдачи тепла и осолонения вод с малой адвекцией тепла и с малой устойчивостью тропосферных вод океана. Такие оптимальные условия складываются лишь к югу и юго-востоку от южной оконечности Гренландии, где как известно, и расположены районы образования глубинных североатлантических вод. Опусканию вод здесь способствует и вертикальная циркуляция, что недавно показала Кузнецова [5].

Ясно, однако, что в создании здесь условий, благоприятных для глубокого опускания вод, крупная роль все же принадлежит выявленному на рис. 3 очагу уплотнения вод. Его роль можно определить как «заготовку» вод повышенной плотности, переносимых затем из очага Северо-Атлантическим течением и течением Ирмингера в район, где они смогут дать потенциальную возможность формирования североатлантической

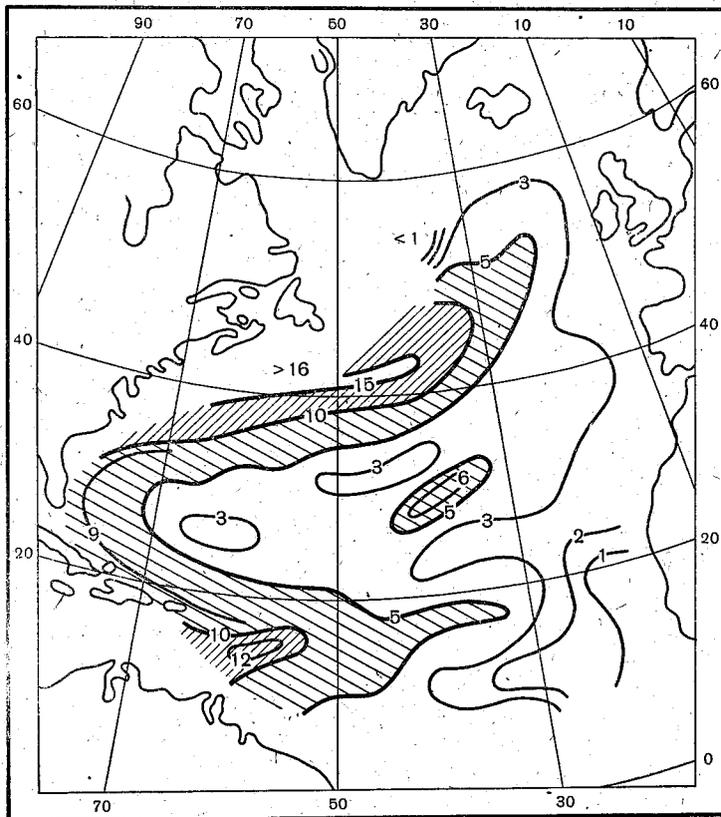


Рис. 4. Амплитуда годового хода средней скорости переноса под верхнего 200-метрового слоя океана в  $см/сек$ , рассчитанная по средним многолетним данным (по Л. К. Жукову).

глубинной водной массы, а реализуется эта возможность в море Ирмингера и в Девисовом проливе, в 1—2 тысячах километров от очага.

Не останавливаясь на других следствиях воздействия на океан влаго- и теплообмена через его поверхность, затронем, хотя бы слегка, вопрос о картографическом выражении динамического воздействия атмосферы на океан. Этот процесс неоднократно картировался, например в форме поля тангенциального напряжения ветра [6]. Не воспроизводя здесь этих известных карт, естественно тоже выявляющих зоны повышенного и зоны слабого ветрового воздействия, мы приводим на рис. 4 схематическую карту амплитуд годового хода средней скорости течения в верхнем 200-метровом слое океана. Эта карта рассчитана Л. А. Жуковым и извлечена из составленного им атласа изменений состояния системы океан-атмосфера в Северной Атлантике [4].

Карта показывает наибольшую разность ежемесячных средних многолетних скоростей течений. Они представляют сумму дрейфовой и плотностной слагающей, но дрейфовая сильно преобладает. На карте ясно

определяется обширная зона и очаги значительной межсезонной изменчивости скоростей течений. Их расположение, близкое к положению зоны наибольшей скорости течений, по-видимому, в общем правильно указывает районы наиболее сильного и эффективного воздействия атмосферы на циркуляцию вод верхнего слоя океана, хотя полученная картина этого воздействия, возможно, несколько изменена явлением интенсификации течений у западного берега океана.

Окидывая теперь взором все приведенные здесь карты, нельзя не подчеркнуть общность черт некоторых из них (см. рис. 1 и 3, а также 4 и 1; 4 и 2). По-видимому, это естественное следствие взаимосвязанности разных процессов взаимодействия океана и атмосферы, равно как и влияния суши на обе среды.

В заключение отметим, что все изложенное, конечно, только опыт. Развивая его, наверное удастся найти и другие, возможно, и лучшие обобщающие характеристики взаимодействия океана и атмосферы. Вместе с тем, как кажется, уже сейчас видна польза предлагаемого подхода, в частности, выгодность выделения очагов взаимодействия океана и атмосферы. Думается, что их глубокое изучение даст не меньше, чем дало изучение центров действия атмосферы.

Все это особенно важно в связи с подготовкой к широким натурным, в том числе, глобальным экспериментам по изучению циркуляции атмосферы, а также к организации постоянной глобальной международной сети автономных наблюдений в Мировом океане. Видимо, если пункты таких наблюдений располагать густо в очагах взаимодействия океана и атмосферы и значительно реже на малодейственных пространствах океана, то можно будет достигнуть максимальной эффективности сети при минимальных затратах средств. Даже показанная выше значительная неоднородность полей средних многолетних характеристик воздействия друг на друга атмо- и гидросферы подтверждает это. А ведь поля реальные, относящиеся к отдельным месяцам или суткам, будут обладать еще гораздо большей неоднородностью. Между тем, именно они будут в первую очередь нужны в качестве основы численных экспериментов и прогнозов, как гидродинамических, так и физико-статистических. Для последних, в частности, может оказаться особенно важным вести точный, повседневный «бухгалтерский» учет энергии, передаваемой океаном атмосфере или обратно. Ясно, что будет выгодно организовать такой учет в первую очередь в очагах взаимодействия сред. Во многих случаях этого окажется даже достаточно. Следует также думать, что эффективность физико-статистических прогнозов может быть повышена, если вместо индикаторов процессов в соответствующие связи будут вводиться непосредственные данные о количествах поступающей или отдаваемой энергии.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. В. В. Тимонов. О постановке исследований по проблеме океан-атмосфера. Тезисы докладов II Международному океанографическому конгрессу. Изд-во «Наука», 1966.
2. W. Jacobs. The energy exchange between Sea and atmosphere and some of the consequences. Bull. Scripps Inst. Oceanoq. Vol. 6, No 2, 1951.
3. Атлас теплового баланса земного шара, под ред. М. И. Будыко. Л., Гидрометеоздат, 1963.
4. Атлас изменений состояния системы океан-атмосфера. вып. 2. Л., Гидрометеоздат, 1967.
5. Л. Н. Кузнецова. О конвективном перемешивании и вертикальной циркуляции в субполярном районе Атлантического океана в период охлаждения. Тр. ЛГМИ, вып. 24, 1967.
6. Ж. Малкус. Крупномасштабное взаимодействие океана и атмосферы. Сборник статей «Море», Л., Гидрометеоздат. 1965.