

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. 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

<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, <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
---	-----

## О РАСПРОСТРАНЕНИИ ДЛИННОЙ ВОЛНЫ В КАНАЛЕ ПЕРЕМЕННОЙ ШИРИНЫ

В. А. Макаров

При распространении гармонических колебаний жидкости в канале переменного сечения вообще имеет место частичное отражение волны. Однако в отдельных случаях отражение может отсутствовать.

В качестве примера рассмотрим колебание жидкости в канале прямоугольного сечения с постоянной глубиной  $h$  и шириной, изменяющейся по экспоненциальному закону  $b = b_0 e^{kx}$ . Уравнения движения и неразрывности в случае гармонических колебаний без трения с угловой скоростью  $\sigma$  после замены средней скорости полным потоком через сечение канала примут вид:

$$\frac{d\xi_0}{dx} = -\frac{i\sigma e^{-kx}}{ghb_0} \omega_0,$$
$$\frac{d\omega_0}{dx} = -i\sigma b_0 e^{kx} \xi_0,$$

где  $\xi_0$  и  $\omega_0$  — амплитуды превышения уровня и потока;  $g$  — ускорение силы тяжести;  $i = \sqrt{-1}$ .

Далее можно записать:

$$\frac{d^2\xi_0}{dx^2} + k \frac{d\xi_0}{dx} + \frac{\sigma^2\xi_0}{gh} = 0,$$
$$\frac{d^2\omega_0}{dx^2} - k \frac{d\omega_0}{dx} + \frac{\sigma^2\omega_0}{gh} = 0.$$

Общее решение дифференциального уравнения для уровня имеет вид:

$$\xi_0 = Ae^{\delta_1 x} + Be^{\delta_2 x},$$

где  $\delta_1$  и  $\delta_2$  — корни характеристического уравнения

$$\delta^2 + k\delta + \frac{\sigma^2}{gh} = 0,$$

т. е.

$$\delta_{1,2} = -\frac{k}{2} \pm \sqrt{\frac{k^2}{4} - \frac{\sigma^2}{gh}} = -\frac{k}{2} \pm \frac{i\sigma}{\sqrt{gh}} \sqrt{1 - \frac{k^2 gh}{4\sigma^2}} = -\frac{k}{2} \pm i\eta,$$

Тогда превышение уровня запишется в виде:

$$\xi = \xi_0 e^{i\sigma t} = \xi_0^+ e^{-\frac{kx}{2}} e^{i(\sigma t - \eta x)} + \xi_0^- e^{-\frac{kx}{2}} e^{i(\sigma t + \eta x)} = \xi^+ + \xi^- \quad (1)$$

Аналогично:

$$\omega = \omega_0 e^{i\sigma t} = \omega_0^+ e^{-\frac{kx}{2}} e^{i(\sigma t - \eta x)} + \omega_0^- e^{-\frac{kx}{2}} e^{i(\sigma t + \eta x)} = \omega^+ + \omega^-$$

Эти выражения представляют собой сумму волн уровня и потока, одни из которых распространяются в положительном ( $\xi^+$ ,  $\omega^+$ ), другие в отрицательном ( $\xi^-$ ,  $\omega^-$ ) направлении оси  $x$ . Амплитуды волн увеличиваются в направлении сужения канала.

Получим далее:

$$\begin{aligned} \omega_0^+ &= -\frac{ghb_0 e^{kx}}{i\sigma} \frac{d\xi_0^+}{dx} = \frac{ghb_0 \left(\frac{k}{2} + i\eta\right)}{i\sigma} \xi_0^+ e^{\left(\frac{k}{2} - i\eta\right)x}, \\ \omega_0^- &= \frac{ghb_0 \left(\frac{k}{2} - i\eta\right)}{i\sigma} \xi_0^- e^{\left(\frac{k}{2} + i\eta\right)x} \end{aligned} \quad (2)$$

Характер колебания жидкости на отдельных участках канала определяется комплексом параметров, которые можно представить в виде некоторых характеристик — гидродинамических сопротивлений  $P$  [1], равных отношению амплитуды превышения уровня к амплитуде потока

$$P = \frac{\xi_0}{\omega_0}$$

Сопротивление для волн, распространяющихся в положительном и отрицательном направлениях оси  $x$ , будут соответственно равны, согласно (1) и (2),

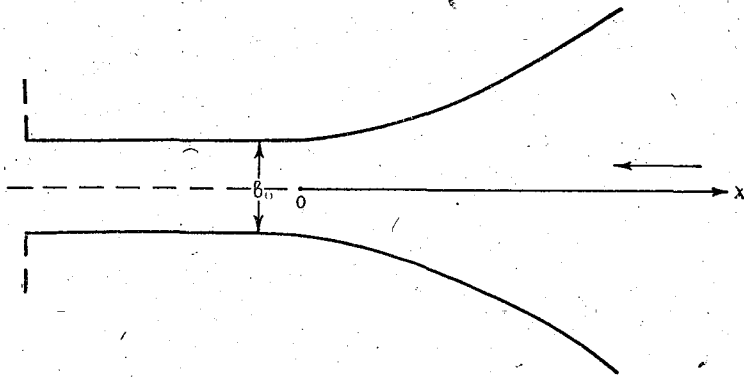
$$P^+ = \frac{\xi_0^+}{\omega_0^+} = \frac{ice^{-kx}}{ghb_0 \left(\frac{k}{2} + i\eta\right)}, \quad P^- = \frac{\xi_0^-}{\omega_0^-} = \frac{ise^{-kx}}{ghb_0 \left(\frac{k}{2} - i\eta\right)}$$

В общем случае

$$\omega_0 = \frac{\xi_0^+}{P^+} + \frac{\xi_0^-}{P^-}$$

Если  $\frac{k}{\eta}$  мало, то  $P^+ = -P^-$ .

Пусть участок канала, в пределах которого ширина изменяется по экспоненциальному закону, переходит при  $x=0$  в канал с другими геометрическими характеристиками (см. рисунок). Тогда в начале экспо-



ненциальной части будет иметь место гидродинамическое сопротивление  $P_H$ , выражающее влияние на распространяющуюся волну со стороны соседней части канала.

В начале экспоненциальной части имеем:

$$\frac{\xi_{0H}}{w_{0H}} = P_H = \frac{\xi_0^+ + \xi_0^-}{\frac{\xi_0^+}{P^+} + \frac{\xi_0^-}{P^-}}$$

Коэффициент отражения волны уровня, распространяющейся справа, при этом равен

$$m_\xi = \frac{\xi_0^+}{\xi_0^-} = \frac{-P_H P^+ + P^+ P^-}{-P^+ P^- + P_H P^-}$$

Отражение отсутствует ( $m_\xi = 0$ ), если:

$$P_H = P^- \Big|_{x=0} = \frac{i\sigma}{ghb_0 \left( \frac{k}{2} - i\eta \right)}$$

В этом случае гидродинамическое сопротивление в начале экспоненциальной части канала комплексное. А это может иметь место в том случае, например, когда канал с уменьшающейся по экспоненте в отрицательном направлении оси  $x$  шириной переходит при  $x=0$  в прямоугольный канал со ступенчатым увеличением, далее вдоль оси сечения (см. рисунок). Тогда в примыкающей к расширению части канала с постоянным сечением ( $AO$ ) будет существовать сложная прогрессивно-стоячая волна, а на участке с меняющейся шириной — поступательная с увеличивающейся по направлению к узкой части амплитудой превышения уровня. Такая картина колебания жидкости может иметь место в проливах, конфигурация берегов которых такая же, как на рисунке.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. В. А. Макаров. К вопросу о приливных колебаниях в канале переменного сечения. Тр. ЛГМИ. вып. 16, 1962.