

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

РАСЧЕТ ПРИЛИВНЫХ ЯВЛЕНИЙ В МОРЕ С УЧЕТОМ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ТУРБУЛЕНТНОГО ТРЕНИЯ

Б. А. Каган, А. В. Некрасов, Р. Э. Тамсалу

В работах [1, 2] было показано, что расчет приливных явлений в море произвольных очертаний и переменной глубины с учетом горизонтального турбулентного трения сводится к численному решению следующих уравнений в частных производных:

для комплексной амплитуды колебаний уровня ξ —

$$\begin{aligned} \nabla^4 \xi - \frac{\delta}{A} \frac{(2A\sigma + igH)}{(A\sigma + igH)} \nabla^2 \xi + \frac{\sigma}{A} \frac{(\delta^2 + l^2)}{(A\sigma + igH)} \xi = \\ = - \frac{ig}{A\sigma + igH} \left[\left(\nabla^2 - \frac{\delta}{A} \right) \left(\frac{\partial H}{\partial x} \frac{\partial \xi}{\partial x} + \frac{\partial H}{\partial y} \frac{\partial \xi}{\partial y} \right) + \frac{l}{A} J(\xi, H) + \right. \\ \left. + (2\nabla H \nabla + \nabla^2 H) \nabla^2 \xi \right] \end{aligned} \quad (1)$$

и для комплексных амплитуд составляющих скорости u и v —

$$A \nabla^2 u H - \delta u H = g H \frac{\partial \xi}{\partial x} - l v H; \quad (2)$$

$$A \nabla^2 v H - \delta v H = g H \frac{\partial \xi}{\partial y} + l u H, \quad (3)$$

где A — коэффициент горизонтального турбулентного обмена; l — параметр Кориолиса; H — глубина; σ — угловая скорость приливной волны; g — ускорение силы тяжести; ∇ — плоский оператор Гамильтона; ∇^2 — оператор Лапласа; ∇^4 — бигармонический оператор; $J(\xi, H)$ — якобиан; $\delta = \beta + i\sigma$; β — коэффициент трения.

На контуре Γ , ограничивающем исследуемую область моря P , уравнение (1) должно удовлетворять следующим граничным условиям:

$$P \in \Gamma : \xi = \varphi_1(P), \quad (4)$$

$$\nabla^2 \xi = \frac{g}{iA\sigma - gH} \left(\frac{\partial H}{\partial x} \frac{\partial \xi}{\partial x} + \frac{\partial H}{\partial y} \frac{\partial \xi}{\partial y} \right), \quad (5)$$

причем если часть контура представляет собой жидкую границу, то условие (5) должно замениться заданием составляющих градиента уровня:

$$\frac{\partial}{\partial x} ; \frac{\partial}{\partial y} \xi = \varphi_2(P). \quad (6)$$

По заданным градиентам уровня (6) с помощью обычных формул [3], не учитывающих влияния горизонтального обмена, рассчиты-

ваются компоненты скорости на жидкой границе, отделяющей область моря от океана. На твердой береговой черте вследствие прилипания скорость приливного течения обращается в нуль. Эти условия для универсальности записываются в виде:

$$P \in \Gamma : u, v = \psi_{1,2}(P), \quad (7)$$

где $\psi_1 = \psi_2 = 0$ на твердой части контура. Они принимаются в качестве граничных условий при решении уравнений (2)–(3).

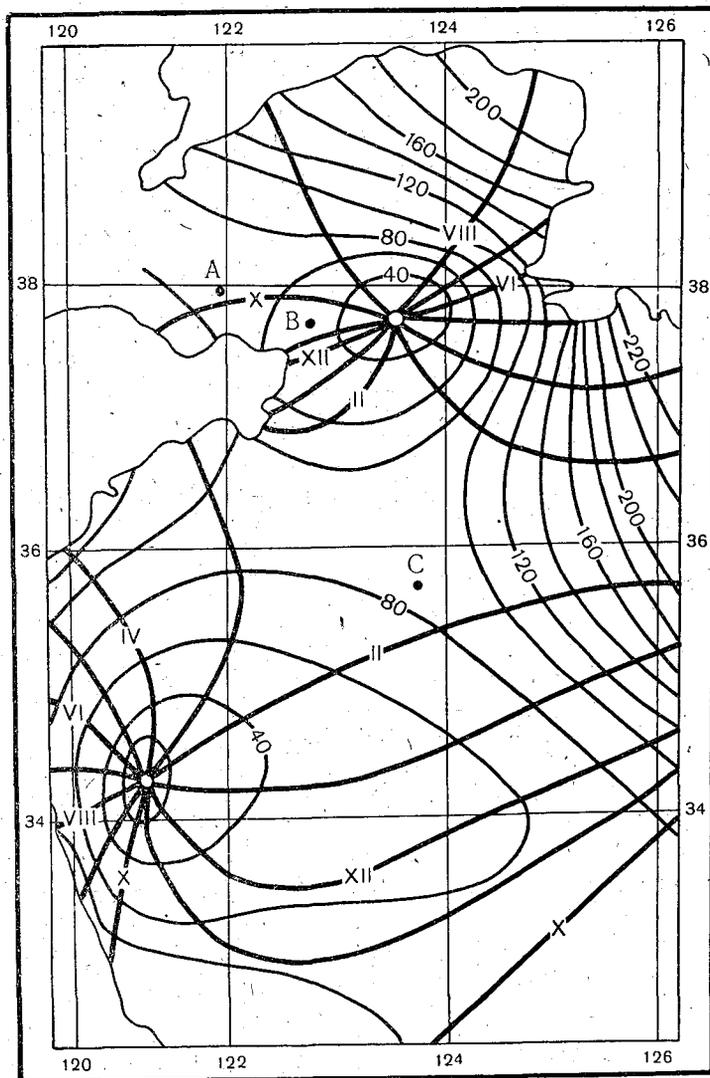


Рис. 1. Котидальные линии и изоамплитуды составляющей M_2 в Желтом море.

Целью настоящей работы является проверка возможностей описанного выше метода. В качестве объекта испытаний выберем Желтое море. Это позволит нам не только испытать метод на примере такого сложного по очертаниям берегов и распределению глубин бассейна, каким является Желтое море, но и даст возможность одновременно

сопоставлять результаты расчета, полученные при учете горизонтального турбулентного трения, с расчетом, не учитывающим его [4].

Предварительные испытания этого метода [5], в которых вместо условия (5) на твердой границе привлекалось условие (6), показали, что оптимальной величиной коэффициента горизонтальной турбулентной вязкости для Желтого моря является $A = 5 \cdot 10^8 \text{ см}^2/\text{сек}$. Восполь-

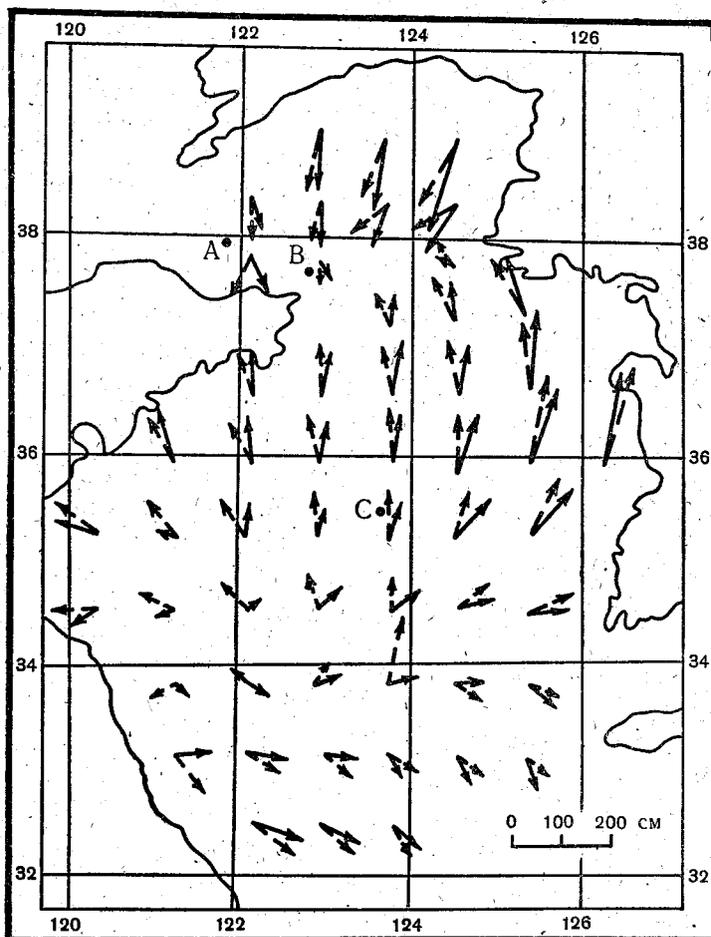


Рис. 2. Сопоставление амплитуд и фаз составляющей M_2 , рассчитанных с учетом (сплошные стрелки) и без учета (пунктирные стрелки) горизонтального турбулентного трения.

зуемся найденной в [5] величиной коэффициента A и приведенной там же сетчатой областью, аппроксимирующей акваторию Желтого моря, для решения системы уравнений (1) — (3), которая должна удовлетворять граничным условиям (4) — (7).

Результаты расчета, выполненного на ЭВМ «Урал-4», представлены на рис. 1—4.

На рис. 1 изображена карта изоамплитуд и котидальных линий для составляющей M_2 , рассчитанная с учетом горизонтального турбулентного трения. Сопоставление амплитуд и фаз, вычисленных с учетом (сплошные стрелки) и без учета (пунктирные стрелки) бокового обмена приведено на рис. 2. На этом рисунке длина стрелок пропорциональна

амплитуде, а направление характеризует фазу приливных колебаний уровня. Как видно, учет горизонтального трения наиболее заметным образом сказался вблизи центров амфидромических систем, что связано с их смещением. Это смещение происходит в сторону северо-восточного угла моря, где имеет место основное отражение входящей в море

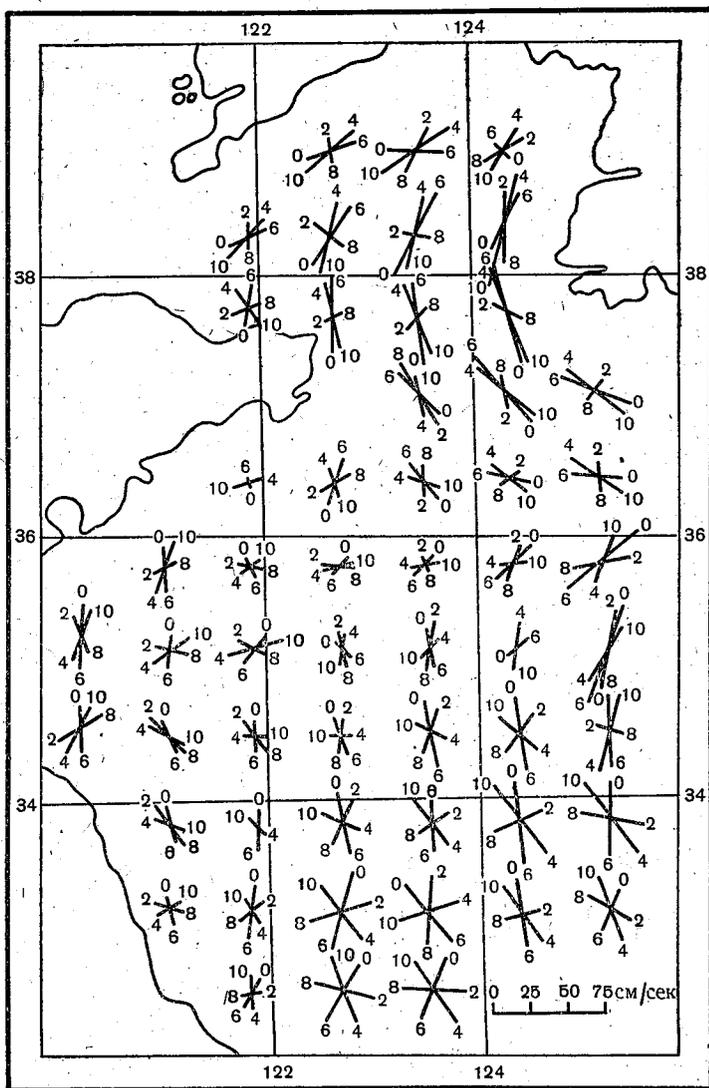


Рис. 3. Эллипсы приливного течения для волны M_2 , рассчитанные с учетом горизонтального турбулентного трения.

приливной волны. Благодаря трению смещение сопровождается уменьшением расстояния между пучностями и узлами. Поскольку при этом южная амфидромия смещается больше, то происходит некоторое сближение амфидромических точек, и амплитуды колебаний уровня в области, лежащей между ними, в общем уменьшаются. В южной части моря это приводит к некоторому росту амплитуд уровня. Увеличение амплитуд обнаруживается и в северной части моря, где оно, по-видимому, связано с тем, что при учете бокового обмена влияние граничных усло-

вий (в данном случае — больших амплитуд) распространяется дальше от берега.

Что касается изменения фаз, вызванного учетом горизонтального трения, то наибольшее изменение имеет место также в районах центров

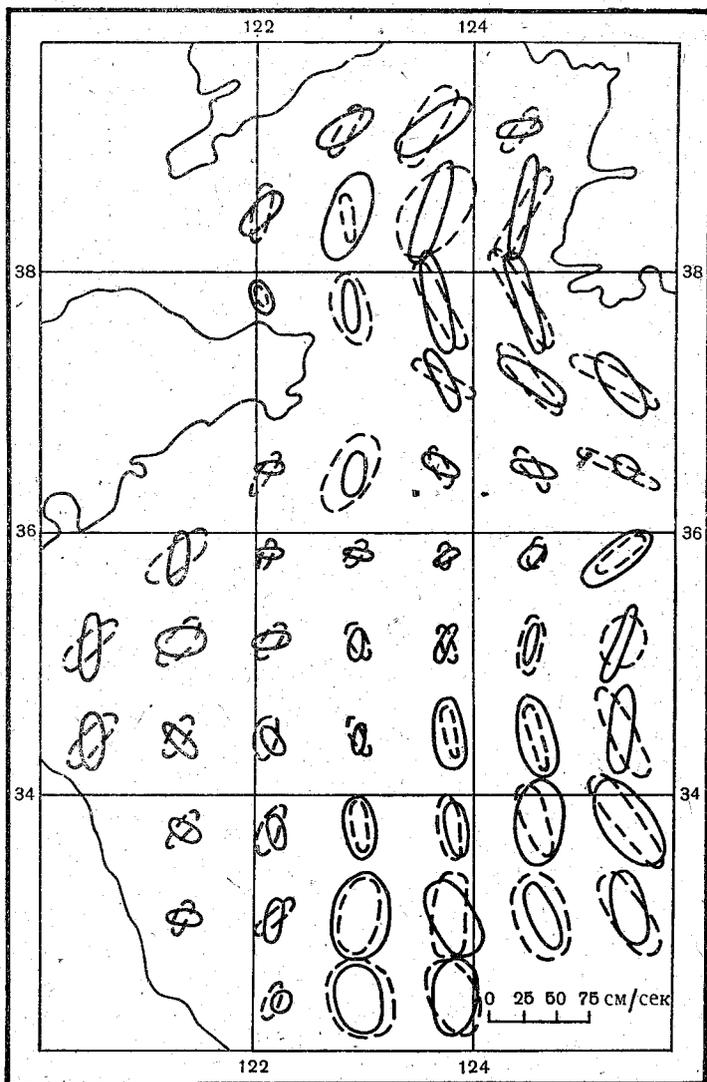


Рис. 4. Сравнение эллипсов течения для волны M_2 , рассчитанных с учетом (сплошные кривые) и без учета (пунктирные кривые) горизонтального турбулентного трения.

амфидромических систем. В пределах моря выделяются зоны опережения (центральная часть моря) и запаздывания (прибрежные районы) относительно фаз, найденных без учета бокового обмена.

Переходя к рассмотрению течений (рис. 3), отметим, что введение в расчет горизонтального трения в общем должно вызвать уменьшение их скоростей. Учет бокового обмена действительно привел к уменьшению средней по всему морю величины максимального течения. В большинстве расчетных точек скорости максимального течения также уменьшились по сравнению с результатами, полученными без учета бокового

бмена. При этом уменьшение практически оказалось сосредоточенным в пределах областей, прилежащих к берегам моря, а в центре моря имеет место усиление максимальных скоростей. Последнее обстоятельство можно объяснить увеличением градиентов уровня, связанных со смещением амфидромических систем.

Сопоставление двух указанных результатов (рис. 4)* показывает, что эллипсы приливных течений при учете бокового обмена заметнее всего изменились у берегов: у юго-западного берега Кореи, в западной части основного бассейна, а также на его северной окраине. При этом результаты нового расчета представляются более логичными, так как ориентация эллипсов в прибрежной зоне лучше согласуется с направлением береговой черты.

Сопоставление рассчитанных (с учетом и без учета горизонтального трения) уровня и течений с данными наблюдений

Станция	Уровень						Течения					
	без учета горизонтального трения		с учетом горизонтального трения		наблюд.		без учета горизонтального трения		с учетом горизонтального трения		наблюд.	
	<i>H</i>	<i>g</i>	<i>H</i>	<i>g</i>	<i>H</i>	<i>g</i>	<i>V</i>	<i>d</i>	<i>V</i>	<i>d</i>	<i>V</i>	<i>d</i>
A	65	303	75	307	74	306	13	310	14	300	9	287
B	20	315	24	299	20	291	50	345	52	340	55	327
C	90	90	82	67	83	63	12	12	19	25	18	14

Примечание. Амплитуды (*H*) в см, фазы (*g*) в градусах, максимальные скорости (*V*) в см/сек, направление течения (*d*) в градусах.

Сравнение с данными фактических наблюдений удается осуществить лишь в трех точках открытого моря, где такие наблюдения проводились. Результат сравнения дан в таблице, в которой приведены также значения гармонических постоянных уровня и течений, полученные без учета горизонтального турбулентного трения. Видно, что учет бокового обмена улучшает соответствие между результатами расчета и данными наблюдений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Б. А. Каган, А. В. Некрасов. Об учете горизонтального турбулентного обмена при расчетах приливных явлений методом крайних значений. Тр. ЛГМИ, вып. 20, 1965.
2. Б. А. Каган. К вопросу об учете горизонтального турбулентного обмена при расчете приливных колебаний уровня методом крайних значений. «Океанология», № 3, 1966.
3. W. Hansen. Gezeiten und Gezeitenströme der habitägigen Hauptmond tide M_2 in der Nordsee. Deutsche Hydrographische Zt. Ergänzungsreihe I, 1952.
4. Л. И. Борис. Расчет приливов и приливо-отливных течений Желтого моря. Тр. ЛГМИ, вып. 7, 1958.
5. Б. А. Каган, А. В. Некрасов, Р. Э. Тамсалу. О влиянии горизонтального турбулентного трения на приливные колебания уровня моря. Изв. АН СССР, «Физика атмосферы и океана», вып. 2, 1966.