

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

АБДУЛЛАЕВ ИМРАН МАМЕДАЛИ ОГЛЫ

УДК 551.465

ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЕТРОВОГО  
ПЕРЕМЕШИВАНИЯ В ВЕРХНЕМ СЛОЕ МОРЯ

ИИ.00.08 - океанология

А в т о р е ф е р а т  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

Москва - 1988

Работа выполнена в Вычислительном Центре при Азербайджанском Государственном Университете им.С.М.Кирова.

Научный руководитель: доктор физико-математических наук В.И.КАЛАЦКИЙ

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук В.П.КЕОНДЖАН

кандидат физико-математических наук Ю.Д.РЕСНЯНСКИЙ

Ведущая организация: Институт водных проблем АН СССР.

Защита диссертации состоится 24 декабря 1989 г.  
в 16 час 30 мин на заседании Ученого совета  
К 024. Физико-математического института пер.6  
им. С.М. Кирова Азербайджанского государственного университета им. С.М. Кирова  
в Г. Баку, в здании Института математики АН Азербайджанской Республики, в аудитории 1-34.  
Секретарь: Г.И. ГОИНА.  
1989 г.

Сп  
ка

ПРИВАЛОВА

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность тем. Исследованиям структуры верхнего слоя моря в современной океанологии уделяется большое внимание (Краус, 1979; Реснянский, 1975, 1976; Калацкий, Нестеров, Нечволодов, Батов, 1975-1988; Фельзенбаум, Арсеньев, Куфтарков, Коротаев, 1975-1980; Сухоруков, 1988; Меллор, 1973-1975). Важность этих исследований в основном определяется тем, что они тесно связаны с разработкой методов долгосрочного прогноза погоды и климата, гидродинамическими прогнозами, прогнозами рыбных скоплений и загрязненности гидросферы. Наиболее важные характеристики верхнего слоя моря - температура и скорость течения формируются в результате взаимодействия атмосферы и океана. Поэтому современное математическое моделирование этого взаимодействия невозможно без детального изучения верхнего слоя моря. Одной из основных задач этого изучения является построение гидродинамической модели ветрового перемешивания в верхнем слое моря. Начальным этапом при таком моделировании является разработка модели верхнего слоя моря, находящегося под воздействием ветра, в условиях горизонтальной однородности. Именно этому вопросу посвящена диссертация автора.

Цель работы состоит в исследовании процессов формирования и эволюции скорости течения и температуры в верхнем слое моря, находящегося под воздействием ветра, на основе методов математического моделирования.

При выполнении работы ставились следующие задачи:  
- разработать математическую модель верхнего слоя моря,

ВНУТРО  
№ \_\_\_\_\_  
Библиотечка

находящегося под воздействием стационарного ветра;

- изучить влияние потока тепла на толщину слоя трения Экмана, коэффициент вертикального обмена количеством движения и ветровой коэффициент;

- исследовать роль нестационарного ветра при развитии течения в верхнем слое моря до установившегося состояния;

сформулировать интегральный подход к проблеме гидродинамики верхнего слоя моря с учетом нестационарности уравнений баланса импульса, тепла и энергии турбулентности для перемешанного слоя, слоя скачка и термоклина;

- на основании интегрального подхода с использованием "модели плиты" и с учетом диссипативных сил найти правильное решение (в отличие от полученного ранее решения, дающего незатухающие периодические колебания, которые не имеют реального физического смысла).

Целью работы является также сопоставление результатов, полученных на основании теории и по данным наблюдений на гидрологических станциях в Тихом океане и Каспийском море.

Методы исследования. Для решения поставленных задач использовались методы математического моделирования, основанные на решении дифференциальных уравнений геофизической гидромеханики аналитическими методами и численными методами с помощью ЭВМ. Методы исследования включали сопоставление результатов расчета с эмпирическими данными, полученными на основании наблюдений в природных условиях.

Научная новизна работы выражается как в самом подходе к рассматриваемой проблеме, так и в полученных результатах.

В качестве математической модели верхнего слоя моря для

задач его динамики, автором предложен общий подход в рамках интегральной модели. Он основан на использовании уравнений баланса тепла, количество движения и энергии турбулентности для перемешанного слоя, слоя скачка, моделируемого поверхностью разрыва температуры и потока тепла, и термоклина. Задача сведена к решению интегральных уравнений для каждого из этих слоев, причем внутри слоев осуществляется вертикальная параметризация как температуры, так и скорости течения. Проведено изучение реакции верхнего слоя моря на стационарный ветер, ветер, развивающийся до стационарного состояния и меняющийся в течение шторма. Тем самым дан детальный анализ синоптической изменчивости верхнего слоя моря. Построены аналитические решения для однородного и двухслойного моря и для стратифицированного моря при существовании термоклина в условиях развитого вовлечения. При изучении динамики верхнего слоя показано, что инерционные колебания скорости течения в перемешанном слое затухают благодаря учету диссипативных сил в уравнениях движения. Показан важный вклад потока тепла в теорию стационарных чисто дрейфовых течений Экмана. Наконец, показано, что для отдельных районов океана, например в регионе станции погоды "Р" в Тихом океане, одномерная интегральная модель правильно описывает реакцию верхнего слоя на атмосферное воздействие.

Практическая ценность. Результаты полученные в настоящей работе, являются важным практическим шагом в решении задач долгосрочного прогноза погоды и прогноза климата, а также при решении задач мониторинга гидросферы по данным о состоянии атмосферы над ее поверхностью. Конкретные результаты

диссертации используются в совместных работах, ведущихся по проблеме Каспийского моря в Государственном океанографическом институте и Вычислительном Центре при Азербайджанском Государственном университете по договору о содружестве. Результаты, полученные в работе используются на практике при расчетах морских течений, необходимых для прогноза распространения сточных вод в Апшеронском шельфе Каспийского моря в Центре Проблем Каспийского моря института географии Академии наук Азербайджанской ССР.

Апробация работы. Основные результаты диссертации докладывались на семинарах Государственного океанографического института, Вычислительного Центра при Азербайджанском Государственном Университете (1986-1988), на совещании - семинаре "Моря СССР" в Одессе (1986), на Межвузовской школе - семинаре "Системные исследования и оптимизация развития территориальных единиц" Азербайджанского Государственного Университета (Баку, 1987). Тезисы доклада о равновесной глубине ветрового перемешивания в море опубликованы в материалах III съезда советских океанологов.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка цитируемой литературы. Общий объем работы составляет 125 страниц, включающих 30 рисунков и 121 наименование в списке литературы.

#### СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цели и задачи исследования, показана его важность и изложена структура работы.

Первая глава содержит обзор работ по математическому моделированию верхнего слоя моря. Отмечена важная роль фундаментального исследования Экмана, посвященного стационарным чисто дрейфовым течениям в верхнем слое глубокого моря. Указаны различные направления дальнейшего усовершенствования теории Экмана, в том числе основанные на использовании уравнения баланса энергии турбулентности. Затем в главе дается обзор работ, в которых используется интегральный подход, основанный на введении верхнего перемешанного слоя моря, слоя скачка температуры и термоклина. Отмечается необъективность, связанная с тем, что различные интегральные модели строятся не на основании фактических данных, а исходя из вкусов авторов и их стремления получить как можно быстрее решение поставленной задачи.

Вторая глава посвящена изучению верхнего перемешанного слоя глубокого моря в рамках теории Экмана, но с дополнительным учетом потока тепла, пронизывающего верхний слой моря.

§ 2.1 содержит предварительные замечания. Указывается на связь работы автора диссертации с предыдущими исследованиями. Ставится задача, которая решается в данной главе:

§ 2.2 излагается теория чисто дрейфовых течений Экмана (1905) для глубокого моря в условиях стационарности и горизонтальной однородности. Решение находится в зависимости от коэффициента вертикального обмена количеством движения или от экмановской глубины трения.

§ 2.3 посвящен определению интегральной генерации в рамках теории Экмана. При этом получено выражение (Куфтарков,

1968)

$$Gen = \pi \frac{v_*^4}{\Omega D}$$

в котором  $v_*$  - скорость трения на поверхности моря.  
 $\Omega$  - параметр Кориолиса и  $D$  - глубина трения.

§ 2.4. Излагается косвенный метод определения коэффициента вертикального обмена количеством движения и глубины трения в зависимости от скорости ветра и параметра Кориолиса (Фельзенбаум, 1956).

§ 2.5 посвящен балансу энергии турбулентности в интегральной форме для верхнего слоя моря. При этом используется гипотеза о том, что энергия поступающая в море в результате разрушения ветровых волн, диссипируется в тонком слое непосредственно в зоне разрушения этих волн.

§ 2.6 посвящен режиму Россби-Монтгомери, определяемому как стационарный режим при отсутствии потока тепла. На основе теории Экмана и с использованием гипотезы Кармана-Россби для масштаба турбулентности в верхнем слое моря показано, что ветровой коэффициент, определяемый как отношение скорости поверхностного течения к скорости ветра, является постоянной величиной.

§ 2.7 посвящен основному случаю, когда в теории Экмана учитывается заданный положительный поток тепла, не меняющийся по вертикали. Вначале приводятся известные ранее решения, полученные либо без учета интегральной диссипации, либо в предположении ее пропорциональности интегральной генерации. Приводится еще одно известное ранее решение, основанное на использовании гипотезы Кармана-Россби. Отмечается физическая

направленность указанных трех решений. Правильное решение находится с использованием интегрального аналога обобщенной гипотезы Кармана-Россби

$$l \sim \frac{\frac{dis}{A}}{\frac{d}{dz} \frac{dis}{A}}$$

в которой  $l$  - характерный масштаб турбулентности,  $dis$  - диссипация,  $A$  - коэффициент вертикального обмена количеством движения,  $z$  - вертикальная координата. В результате следует уравнение Фельзенбаума

$$\frac{D}{D_R} = (1 - cq) \sqrt[4]{1 - \frac{1}{\pi} q}$$

связывающее глубину трения  $D$  с ее значением в режиме Россби-Монтгомери ( $D_R \sim \frac{v_*}{\Omega}$ ) и параметром  $q = m \left( \frac{\Omega D}{v_*} \right)^2$ , в котором  $m = \frac{g \delta \Gamma}{\delta v_*^2}$  безразмерный параметр стратификации Казанского-Монина ( $g$  - ускорение силы тяжести,  $\delta$  - коэффициент термического расширения морской воды,  $\Gamma$  - кинематический поток тепла). Решение этого уравнения в аналитической форме затруднено. В диссертации проводится его анализ и дается численное решение. Затем определяются коэффициент вертикального обмена количеством движения и ветровой коэффициент. Оказывается, что за счет положительного потока тепла в верхнем слое моря коэффициент обмена убывает, а ветровой коэффициент увеличивается. Например при  $v_* = 1 \text{ см} \cdot \text{с}^{-1}$ ,  $D = 10^{-4} \text{ с}^{-1}$  (средние широты),  $\Gamma = 2 \cdot 10^{-3} \text{ см} \cdot \text{с}^{-1} (\text{°C})$  глубина трения  $D$  в 1,5 раза меньше, коэффициент обмена  $A$  примерно вдвое меньше, а ветровой коэффициент  $K$  - в 1,5 раза больше их соответствующего значения в режиме Россби-

Монтгомери, при котором поток тепла  $\Gamma = 0$ .

Третья глава посвящена нестационарной интегральной модели верхнего слоя океана, в которой изучается взаимодействие полей температуры и плотности морской воды с нестационарными течениями в этом слое.

§ 3.1 содержит дифференциальные уравнения теории, включающие уравнение состояния морской воды в приближении Буссинеска, уравнения баланса тепла, количества движения и энергии турбулентности. Для рассматриваемых в диссертации условий горизонтальной однородности эти уравнения, дополненные рядом соотношений полуэмпирической теории турбулентности, в число которых входят гипотезы Прандтля, Кармана-Росси и Колмогорова, составляют замкнутую систему уравнений, описывающую состояние верхнего слоя моря.

§ 3.2 посвящен параметризации температуры в верхнем слое моря, т.е. слое у поверхности моря, в котором заметны сезонные и синоптические колебания температуры. В этом слое выделяется приповерхностный перемешанный (квазиоднородный) слой, слой скачка, описываемый поверхностью разрыва температуры и термоклин, в котором температура параметризуется по вертикали с помощью кубической параболы. При такой вертикальной структуре температуры уравнения баланса тепла для выделенных слоев имеют вид

$$h \frac{dT^0}{dt} = \Gamma^0 - \Gamma^{h-0},$$

$$(\Gamma^0 - \Gamma^{h+0}) \frac{dh}{dt} = \Gamma^{h-0} - \Gamma^{h+0},$$

$$\frac{3}{4}(\Gamma^{h+0} - \Gamma^H) \frac{dh}{dt} + \frac{1}{4}(H-h) \frac{d\Gamma^{h+0}}{dt} = \Gamma^{h+0},$$

где  $h$  - толщина и  $T^0$  - температура перемешанного слоя,  $\Gamma^0$ ,  $\Gamma^{h-0}$  - потоки тепла на его границах,  $H$  - толщина верхнего слоя,  $\Gamma^{h+0}$ ,  $\Gamma^H$  - температура на границах термоклина,  $\Gamma^{h+0}$  - поток тепла в термоклин. Заметим, что если указанная система уравнений решена, то можно найти поток тепла в перемешанном слое и в термоклине:

$$\Gamma = \Gamma^0 - \frac{z}{h}(\Gamma^0 - \Gamma^{h-0}),$$

$$\Gamma = \frac{1}{4}(H-z)^4 \frac{d}{dz} \frac{\Gamma^{h+0} - \Gamma^H}{(H-z)^3}.$$

§ 3.3. содержит описание параметризации скорости течения, согласно которого в перемешанном слое скорость течения не зависит от вертикальной координаты ("плита") за исключением тонкого приповерхностного подслоя, в котором она резко меняется (такое же резкое изменение скорости учитывается в слое скачка). В термоклине задается параболический закон изменения скорости течения по вертикали при котором течение и турбулентные трения исчезают на нижней границе термоклина. При такой параметризации уравнения баланса количества движения в интегральной форме для выделенных слоев имеют вид:

$$\frac{dhU}{dt} = \tau_x^0 - \tau_x^{h-0} + U \frac{dh}{dt} + \Omega hV - zhU,$$

$$\frac{dhV}{dt} = \tau_y^0 - \tau_y^{h-0} + V \frac{dh}{dt} - \Omega hU - z hV,$$

$$(U - u^{h+0}) \frac{dh}{dt} = \tau_x^{h-0} - \tau_x^{h+0},$$

$$(V - v^{h+0}) \frac{dh}{dt} = \tau_y^{h-0} - \tau_y^{h+0},$$

$$\frac{dS_{xT}}{dt} + u \frac{dh}{dt} = \tau_x^{h+0} + \Omega S_{yT} - z S_{xT},$$

$$\frac{dS_{yT}}{dt} + v \frac{dh}{dt} = \tau_y^{h+0} - \Omega S_{xT} - z S_{yT},$$

где  $U, V$  - составляющие скорости "плиты" и  $S_{xT}, S_{yT}$  - составляющие полного потока в термоклине.

§ 3.4 посвящен параметризации энергии турбулентности в термоклине с помощью параболической зависимости для средней кинетической энергии турбулентных пульсаций  $B$ . Для выделенных слоев получим

$$\frac{dB_M}{dt} = \epsilon^0 - \epsilon^{h-0} - \beta^{h-0} \frac{dh}{dt} + Gen_M - Dis_M - \frac{1}{2} g \delta h (\Gamma^0 + \Gamma^{h-0}),$$

$$(\beta^{h-0} - \beta^{h+0}) \frac{dh}{dt} = \epsilon^{h-0} - \epsilon^{h+0} + Gen_\gamma - Dis_\gamma,$$

$$\frac{dB_T}{dt} = \epsilon^{h+0} - \beta^{h+0} \frac{dh}{dt} + Gen_T - Dis_T - g \delta \int_{h+0}^H \Gamma dz,$$

где  $B_M = \int_0^{h-0} \beta dz$ ,  $B_T = \int_{h+0}^H \beta dz$ , и далее

$$Gen_M = \tau^0 m^0 + \frac{1}{2} U \frac{dh}{dt} - \tau^{h-0} m^0 - \frac{1}{2} \frac{dh m^2}{dt} - z h m^2,$$

$$Gen_\gamma = \tau^{h-0} m^{h+0} + \frac{1}{2} m^{h+0} \frac{dh}{dt} - \tau^{h+0} m^{h+0} - \frac{1}{2} m^2 \frac{dh}{dt},$$

$$\Gamma = \Gamma^{h+0} - (\tau^{h+0} - \tau^h) \frac{dh}{dt} - \frac{1}{4} \frac{d}{dt} [(\tau^{h+0} - \tau^h)(H-h)].$$

Заметим, что параметризация температуры, скорости течения и энергии турбулентности в термоклине связана с автономностью  $\eta = \zeta^n$ , где  $\zeta = \frac{H-z}{H-h}$  - безразмерная вертикальная координата,  $\eta = \frac{\tau - \tau^h}{H-h}$  при  $n = 3$  для температуры,  $\eta = \frac{u}{u^{h+0}} = \frac{z}{z^{h+0}}$  и  $\eta = \frac{\beta}{\beta^{h+0}}$  при  $n = 2$  для скорости течения и средней кинетической энергии турбулентности.

§ 3.5 содержит решение задачи Полларда-Райнса-Томпсона (1973) о развитии перемешанного слоя при быстро меняющихся ветровых условиях, когда спираль Экмана не успевает развиваться и перемешанный слой реагирует на ветер как твердое тело (модель плиты). Конкретно рассматривается случай, когда в состоянии покоя мгновенно возникает ветер, который не меняется во времени. Получено правильное аналитическое решение задачи, которое при неограниченном росте времени выходит на стационарный режим благодаря учету диссипативного фактора в урагнениях движения в полных потоках (в то время как решение

Полларда-Райнса-Томпсона, найденное ими без учета этого фактора, дает незатухающие колебания, что неверно с физической стороны). Помимо полного потока в решении задачи определяет-ся толщина перемешанного слоя, которая является ограниченной (в решении Като-Филлипса эта толщина неограниченно возрастает также в результате неучета диссипативного фактора).

Последняя, четвертая глава диссертации посвящена моде-лям ветрового перемешивания как в стационарных условиях, так и в нестационарных, в частности при шторме.

§ 4.1 посвящен стационарной модели ветрового перемешива-ния в верхнем слое моря в случае, когда потока тепла нет, но ниже перемешанного слоя располагается слой скачка, а затем термоклин. По П - теореме в этом случае толщина перемешан-ного слоя определяется выражением

$$h = \frac{v_*}{\Omega} F(m, n),$$

в котором помимо скорости трения  $v_*$  и параметра Кориолиса  $\Omega$  входят безразмерные параметры стратификации  $m = \frac{N}{\Omega}$  и  $n = \frac{g\delta(T^o - T^h)}{\Omega v_*}$ , где  $N$  - частота Вэйселя-Брента на верхней границе термоклина,  $T^o - T^h$  - скачок температуры при переходе к термоклину и  $g\delta$  - параметр плавучести. Соглас-но более ранним результатам  $F \sim m^c$ , где  $c = -1/3$  по Гарничу-Китайгородскому (1978) /  $c = -2/3$  по Филлипсу и Ка-то-Филлипсу/. Недостатком этих решений является отсутствие асимптотики Россби-Монтгомери, для которой  $\Gamma = const$ . В диссертации этот недостаток устранен и найдено правильное решение, для которого эта функция определена в зависимости от четырех констант так:

$$F = C_R \left[ 1 + \frac{C_R}{C_T} n + \frac{C_R}{C_D} \frac{m}{1 + C_D n^2 m^{-2}} \right]^{-1}.$$

Заметим, что ранее близкий результат был получен Фельзенбау-мом (1980) только на основе теории подобия, в то время как в диссертации он получен более точным из рассмотрения баланса энергии турбулентности для перемешанного слоя и слоя скачка в сумме.

§ 4.2 содержит аналитическое решение задачи о выходе на стационар толщины перемешанного слоя в однослойной и двух-слойной моделях при ветре, внезапно возникшем и далее не ме-няющимся. Показано, что практически выход на стационарный ре-жим осуществляется для однородного моря за 11 часов, а для двухслойного - за 66 часов, причем такая существенная разли-ца связана с тем, что в однородном море идет чисто динамичес-кий процесс, а двухслойном развивается процесс вовлечения при возникновении потока тепла на нижней границе перемешанно-го слоя.

§ 4.3 посвящен изучению реакции верхнего слоя океана на один из штормов по данным станции погоды "Р" в Тихом океа-не (50° с.ш., 145° з.д.). Исходным материалом явились наблю-дения над состоянием атмосферы за указанный период (облач-ность, влажность, температура воздуха и скорость ветра на вы-соте флюгера). При решении задачи, проведенной численно по методу Рунге-Кутта, привлекалось уравнение баланса тепла по-верхности океана с использованием стандартной методики Шере-меевской (1972) определения составляющих теплового баланса,



принятой в Гидрометслужбе. В результате решения задачи была получена не только толщина и температура перемешанного слоя, но и поток тепла на поверхности океана. Полученные результаты удовлетворительно согласуются с данными наблюдений, что свидетельствует о возможности использования предлагаемой в диссертации модели при расчетах практических задач.

В § 4.3 рассмотрен также вопрос об определении константы Россби-Монтгомери по данным многосуточной гидрологической станции в Каспийском море, выполненной при условиях, близких к стационарным. Полученное значение этой константы, равное 0.4, близко к значению определенному ранее по материалам станции "Р" (0.36).

#### ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ ПО ДИССЕРТАЦИИ

В заключение сформулированы основные результаты и выводы по диссертации:

1. Изучен вопрос о влиянии потока тепла на толщину слоя трения, коэффициент вертикального обмена количеством движения и ветровой коэффициент в теории Экмана стационарных чисто дрейфовых течений, причем устранены ошибки, имеющиеся в исследованиях других авторов. Выявлено, что при положительном потоке тепла из атмосферы в море толщина слоя трения и коэффициент вертикального обмена существенно уменьшается, а ветровой коэффициент - увеличивается. Таким образом показано, что при использовании теории Экмана для верхнего слоя моря учет потока тепла является необходимым.

2. Предложен общий подход к формулировке и решению задач гидродинамики верхнего слоя моря интегральным методом с

учетом нестационарности уравнений движения и баланса энергии турбулентности, уравнений баланса тепла для перемешанного слоя, слоя скачка и термоклина. Благодаря этому открывается новая перспектива при построении более полных интегральных моделей верхнего слоя моря.

3. Изучен вопрос о выходе на стационарный режим верхнего слоя моря при развитии течения, обусловленного ветром. Показано, что стационарное состояние достигается в случае однородного моря за несколько часов, а при учете вертикальной структуры моря по температуре (двухслойная модель) примерно за трое суток.

Таким образом, получен важный вывод о том, что при существовании слоя скачка время выхода на стационарный режим резко возрастает.

4. Получено решение задачи о развитии чисто дрейфового течения во времени в "модели плиты". Показано, что найденные ранее решения дают незатухающие периодические колебания скорости течения в результате неучета диссипативных сил. Учет этого важного фактора позволил автору получить правильное физически обоснованное решение, в отличие от найденного ранее неверного решения.

5. В качестве практического приложения теории дан расчет характеристик верхнего слоя океана при шторме на станции погода "Р" в Тихом океане. При этом получено удовлетворительное согласие между результатами расчетов и данными наблюдений. Таким образом показано, что состояние верхнего слоя моря в районе станции погоды "Р" полностью определяется

состоянием атмосферы над рассматриваемом регионе в рамках одномерной нестационарной интегральной модели. Кроме того обработаны данные о вертикальном распределении температуры на многосуточной станции в Каспийском море. При этом в рамках режима Россби-Монтгомери найдено значение константы, входящей в соответствующее соотношение теории .

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Абдуллаев И.М. Об интегральном методе решения дифференциальных уравнений в частных производных гидротермодинамики верхнего слоя моря. Сб. научн. тр./Азерб.Гос.ун-т. Баку, 1987, с.91-100.
2. Абдуллаев И.М. О применении интегрального метода при решении задач гидротермодинамики верхнего слоя моря. - Баку, 1987. - 14 с. - Рукопись представлена Азерб.ун-том. Деп. в АЗНИИМТИ, 1987, № 786-Аз.
3. Абдуллаев И.М. О равновесной глубине ветрового перемешивания в море: Тез. докл. III съезда советских океанологов, Ленинград, 1987, - с.18-19.

*И.М. Абдуллаев*

Управление статистики г.Баку  
зак.134 I-р.л. тираж 100 экз. 02061,  
КМН ул.Голубятников-17, угол Чапаева