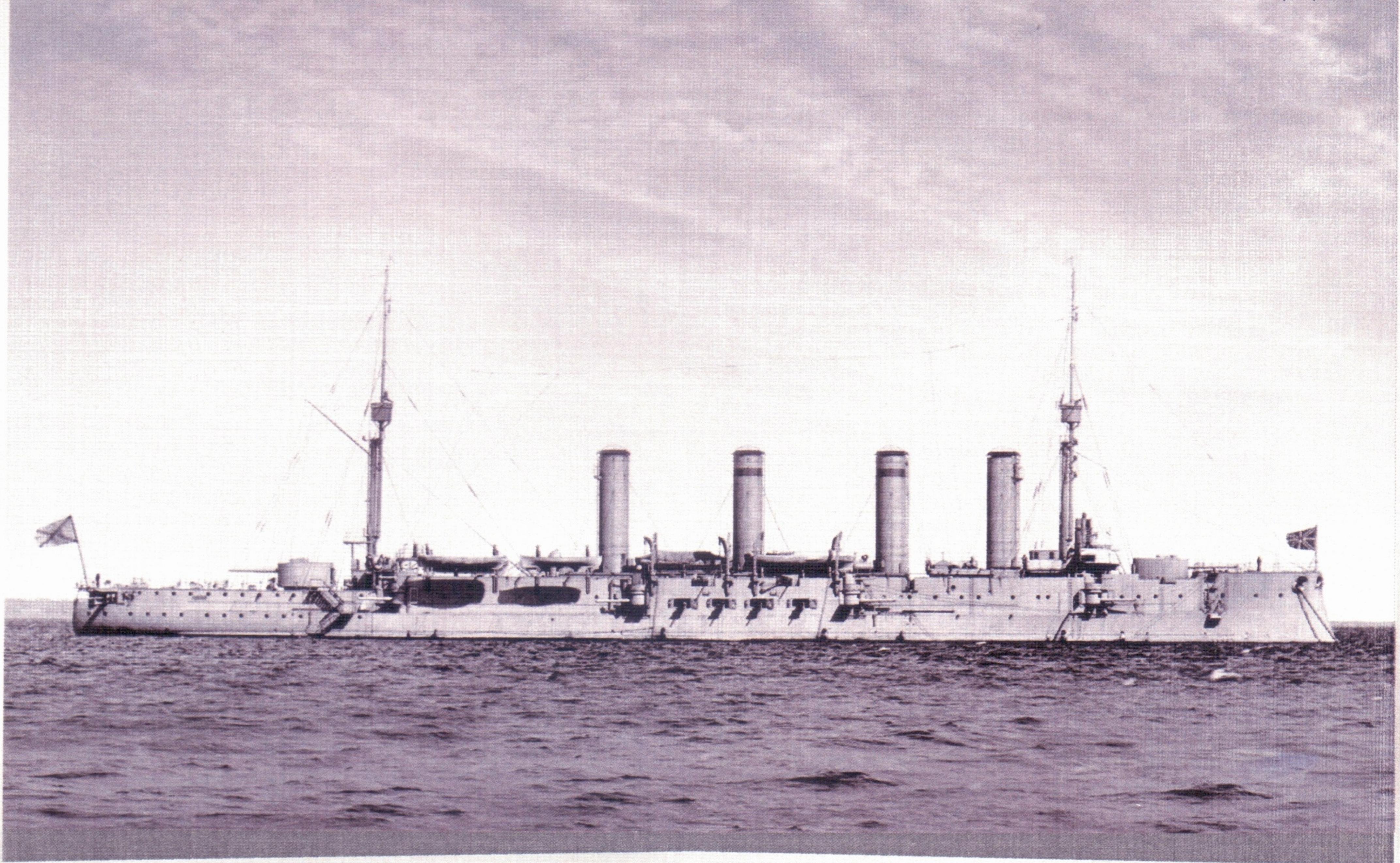


МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

10011010011011110011001000110001010011101001000110101011101000010010010010011
0100011011000011011011000101001001110100111001101001110100110101000011101100111001010
110010111100010011000011011011101000100110100111001001110100110101000011101100111001010
0101000110111010010001001110110000101100111010100111001001100101010100011010110100001
110101100001010111010010100110101010001011010101001110101001110101011010101101001101
1001101001101111001100100010100111010010011101001000110101011101000010010010010011
010001101100001101101100010100100111010011101001110100110101000011101100111001010
110010111100010011000011011011101000100110100111001001110100101001010100011010110100001
010100011011101001000100111011000010110011101010011101001100101010101010010011001110
1101011000010101110100101001101010110001011010011001010101001110100100110101001101001

№ 3(17) 2012

КРЕЙСЕР "ПАЛЛАДА"



010001101100001101101000101001001110100111001001110100110101000011101100111001010
110010111100010011000011011011101101000100110100111001000101001010100011010110100001
01010001101110100100010011101100001011001110101001110100110001010101101010010011001110
11010110000101011101001010011010101100010110101011010010100111010101
10011010011011110011001000101001110100100111010010101100011010101110101101
010001101100001101101000101001001110100111001001110100100110101000010110101000010



СОДЕРЖАНИЕ

О журнале.....	2
Артюшина Т. Г.	
Проектная оптимизация судна на основе теории нечетких множеств	3
Брехов С. Д., Гайкович А. И.	
Особенности постановки задачи оптимизации основных характеристик и элементов судов типа FPSO	10
Золотухин Д. Е.	
Моделирование метеоцунами в сахалинско-курильском регионе	17
Прохнич В. П., Кордас Т. В.	
Интеллектуальная система обучения методам принятия решений в чрезвычайных ситуациях на основе современной теории катастроф	22
Симаков Е. Е.	
Создание математической и компьютерной модели волновых процессов на конечной глубине.....	31
Тряскин В. Н., Хоанг Минь Шон	
Применение теории риска для оценки технического состояния конструкций корпуса судна.....	35
Семенова В. Ю., Со Мое Аунг	
Исследование влияния вертикальной стенки на гидродинамические характеристики судна при его качке на мелководье.....	41
Царев Б. А., Часовников Н. Ю.	
Проектный учет переменных режимов эксплуатации рыболовных судов.....	46
Аннотации статей	50
Информация для авторов	53
Инструкция по подготовке статей	57

CONTENTS

About journal	
Artiushina T. G.	
Ship design optimization based on the theory of fuzzy sets	
Brekhev S. D., Gaikovich A. I.	
Peculiarities of optimization problem of primary characteristics and elements of FPSO vessels statement	
Zolotukhin D. E.	
The modeling of meteotsunami in the Sakhalin-Kuril region	
Prokhnich V. P., Kordas T. V.	
Intelligence system of training to decision-making methods in extreme situations on the basis of the modern catastrophe theory	
Simakov Y. E.	
Creation of mathematical and computer models of wave processes in the final depth	
Tryaskin V. N., Hoang Minh Son	
Application of risk theory for technical condition assessment of the hull structure	
Semenova V. Yu., Soe Kyaw Thu	
The investigation of the effects of vertical quay wall on the hydrodynamics characteristics of the ship oscillating in shallow water	
Tsarev B. A., Chasovnikov N. Yu.	
Design accounting of variable operational modes of fishing vessel	
Abstracts	
Information for authors	
Instructions for the preparation of articles	

СОЗДАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ И КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ ВОЛНОВЫХ ПРОЦЕССОВ НА КОНЕЧНОЙ ГЛУБИНЕ

Симаков Е. Е., аспирант

ГОУ ВПО «Сахалинский Государственный Университет»

тел. 89147463137; e-mail: s-im1a@yandex.ru

В статье раскрыта актуальность моделирования волновых процессов при решении прикладных задач. Продолжена работа по созданию математической модели волновых процессов в океане. Приведены уравнения, описывающие волновую динамику на конечной глубине. Рассмотрены вопросы о траектории частиц жидкости и групповой скорости волн.

Ключевые слова: моделирование океанических процессов, опыт Альборна, волновая теория, конечная глубина, групповая скорость волн .

Введение

Одним из способов познания природных явлений является эксперимент. Организация экспедиций и изучение океанических процессов в реальных условиях приводят к существенным временным и материальным затратам. Кроме того, погрешности полученных таким образом результатов могут достигать довольно больших значений. На помощь в таких ситуациях приходят математическое и компьютерное моделирование. С развитием ЭВМ существенно возрастают возможности для проведения вычислительных экспериментов. Если раньше было возможно решать лишь отдельные уравнения, описывающие физический процесс, то сейчас можно произвести полноценную численную реализацию довольно сложных моделей. Кроме того, увеличивается и точность производимых расчетов.

В предыдущей статье «Моделирование волн на глубокой воде» автором была выдвинута идея создания алгоритма для построения реалистичной модели волновых процессов на бесконечной глубине, основанного на трохоидальной теории, а также выведены основные соотношения, необходимые для моделирования океанических процессов. В данной статье продолжена работа в этом направлении – рассмотрены волновые процессы на конечной глубине на основе теории, разработанной Стоксом и Рейлеем. Помимо этого, в статье рассмотрены численные методы для решения уравнений, описывающих волновые процессы и практические вопросы программирования данных методов.

1. Элементы волновой теории на конечной глубине

Рассмотренная автором в предыдущей статье теория трохоидальных волн Герстнера дает решение для случая волнового движения жидкости на бесконечно большой глубине. В реальных ситуациях приходится иметь дело с волнами, высо-

та которых мала по отношению к длине, и глубина жидкости конечна. Рассмотрим основные свойства волнового движения жидкости с использованием основных положений гидромеханики, учитывая указанные выше свойства. Для этого рассмотрим прямоугольную систему координат: начало в точке О на свободной поверхности жидкости в состоянии покоя, ось X направлена в сторону движения волн, ось Y – вертикально вверх (т.о. ординаты различных глубин (h') будут отрицательны). Сообщим жидкости равномерное поступательное движение со скоростью, равной скорости распространения волн, но в обратную сторону. Динамические условия при этом не изменятся. Сведя данную задачу к случаю установившегося волнового движения, теория которого разработана в гидромеханике, получим основные характеристики волн:

- Скорость распространения волны:

$$V^2 = \frac{g}{k} \cdot th(kh'), \text{ где } k = \frac{2\pi}{\lambda}. \quad (1)$$

Если отношение $\frac{h'}{\lambda}$ очень велико, то

$th(kh') = 1$ и, следовательно, формула при-

нимает вид: $V^2 = \frac{g}{k}$. Если же отношение $\frac{h'}{\lambda}$

мало, то $th(kh') \approx kh'$, т.е. $V^2 = gh'$.

- Период волн: поскольку скорость распространения волны и ее длина связаны соотношением $V = \frac{\lambda}{\tau}$, то исключив из этого уравнения τ ,

$$\tau = \sqrt{\frac{2\pi\lambda}{g \cdot th \frac{2\pi h'}{\lambda}}}. \quad (2)$$

- Длина волны определяется из формулы скорости распространения волны с помощью

замены $th \frac{2\pi h'}{\lambda}$ через $\cos 2\psi$:

$$\lambda = \frac{2\pi V^2}{g \cdot \cos 2\psi}. \quad (3)$$

Теперь определим характер траектории частиц жидкости при волновом движении. Пусть в состоянии покоя некоторая частица имеет координаты (x, y) , а при волновом движении (x', y') . Смещение частицы на любой глубине определяется следующими соотношениями: $\xi = x' - x$, $\eta = y' - y$. Используя рассмотренные ранее формулы, получим:

$$\begin{aligned} v_x &= -i \cdot k \cdot e^{i(kx-\omega t)} C \cdot ch[k \cdot (h-y)] \\ v_y &= k \cdot e^{i(kx-\omega t)} C \cdot sh[k \cdot (h-y)] \end{aligned} \quad (4)$$

Проинтегрируем данные выражения по t :

$$\begin{aligned} \xi &= \frac{k}{\omega} \cdot e^{i(kx-\omega t)} C \cdot ch[k \cdot (h-y)] \\ \eta &= i \cdot \frac{k}{\omega} \cdot e^{i(kx-\omega t)} C \cdot sh[k \cdot (h-y)] \end{aligned} \quad (5)$$

Введя дополнительные обозначения, Перейдем к действительному представлению:

$$a = \frac{kC}{\omega} \cdot ch[k \cdot (h-y)] \quad b = \frac{kC}{\omega} \cdot sh[k \cdot (h-y)] \quad (6)$$

$$\xi = a \cdot \cos(kx - \omega t) \quad \eta = -b \cdot \sin(kx - \omega t)$$

Возведем ξ и η в квадрат, получим уравнение эллипса: $\frac{\xi^2}{a^2} + \frac{\eta^2}{b^2} = 1$

При этом

$$\frac{b}{a} = th[k \cdot (h-y)] = \begin{cases} 0, & \text{если } y = h \\ th(k \cdot h), & \text{если } y = 0 \end{cases} \quad (8)$$

Величина полусей орбит частиц определяет-

$$\text{ся следующим образом: } \frac{A}{B} = \frac{e^{\frac{4\pi(y_0+h')}{\lambda}} - 1}{e^{\frac{4\pi(y_0+h')}{\lambda}} + 1}. \quad (9)$$

Положение и величины эллипсов можно увидеть на рисунке 1: в случае a в общем случае на не очень глубокой воде, в случае b – на глубокой воде, в случае c – на мелкой воде. Как можно заметить, в предельном случае при $kh \rightarrow \infty$

$(\frac{b}{a} = th(\infty) = 1)$ эллипс переходит в окружность,

радиус которой быстро уменьшается с увеличением глубины. С другой стороны, в предельном

случае $kh \rightarrow 0$ ($\frac{b}{a} = th(0) = 0$) эллипсы пере-

ходят в горизонтальные прямые. Таким образом, можно сделать вывод, что в случае мелкой воды вертикальное смещение будет отсутствовать, а горизонтальное будет иметь амплитуду e , не зависящую от y .

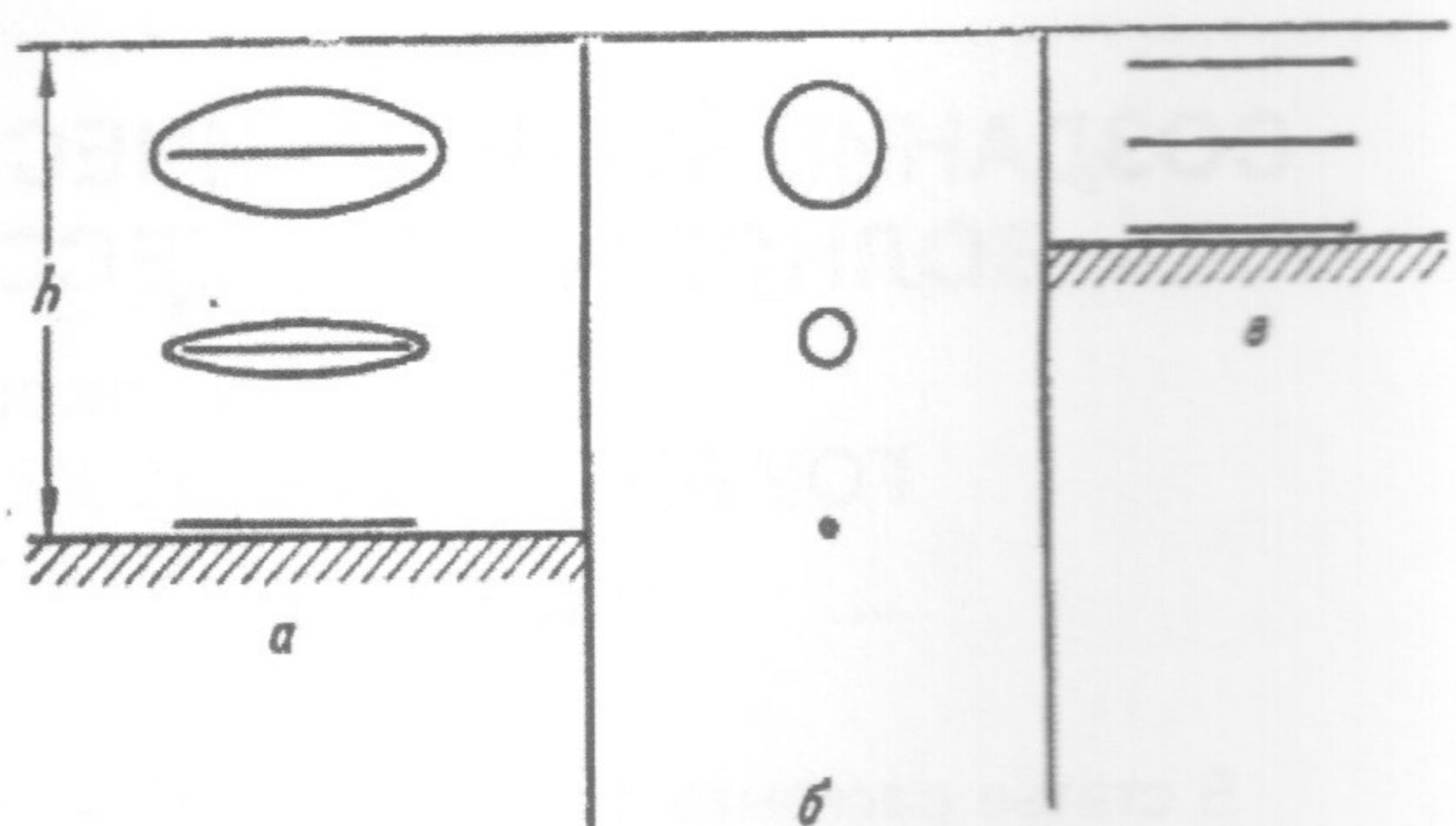


Рис. 1. Траектория частиц жидкости

Рассмотрев вопрос о траектории частиц жидкости, будет логично определить понятия линий тока поля скоростей. В двумерном случае функцию тока Ψ можно получить из равенств:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Psi}{\partial x} &= k \cdot e^{i(kx-\omega t)} \cdot C \cdot sh[k \cdot (h-y)] \\ \frac{\partial \Psi}{\partial y} &= i \cdot k \cdot e^{i(kx-\omega t)} \cdot C \cdot ch[k \cdot (h-y)] \end{aligned} \quad (10)$$

Интегрируя одно из выражений, получим: $\Psi = -i \cdot e^{i(kx-\omega t)} \cdot C \cdot sh[k \cdot (h-y)].$

Рассмотрим действительную часть при $t = 0$: $\Psi = C \cdot \sin(kx) \cdot sh[k \cdot (h-y)].$ Если $y = h$, то $\Psi = 0$, т.е. дно жидкости представляет собой линию тока. Однако $\Psi = 0$ также и при $kx = 0, \pm\pi, \pm 2\pi$. Таким образом, картина течения распадается на прямоугольные поля, содержащие линии тока. Из определения функции тока

следует, что, если $\cos kx = 0$, то $\frac{\partial \Psi}{\partial x} = 0$, т.е. линии тока в этих местах проходят в горизонтальном направлении.

Результаты моделирования на основе рассмотренной теории подтверждаются на практике. Еще в 1909 г. Альборном были проведены опыты, доказывающие достоверность построенной модели. На рисунке 3 приведены фотографии этих опытов. На первой фотографии можно увидеть линии тока, полученные при кратковременном освещении. При более длительном освещении, равного примерно половине периода колебаний, получаются траектории в виде дуг эллипсов. На последней фотографии также можно заметить распространение фазы.

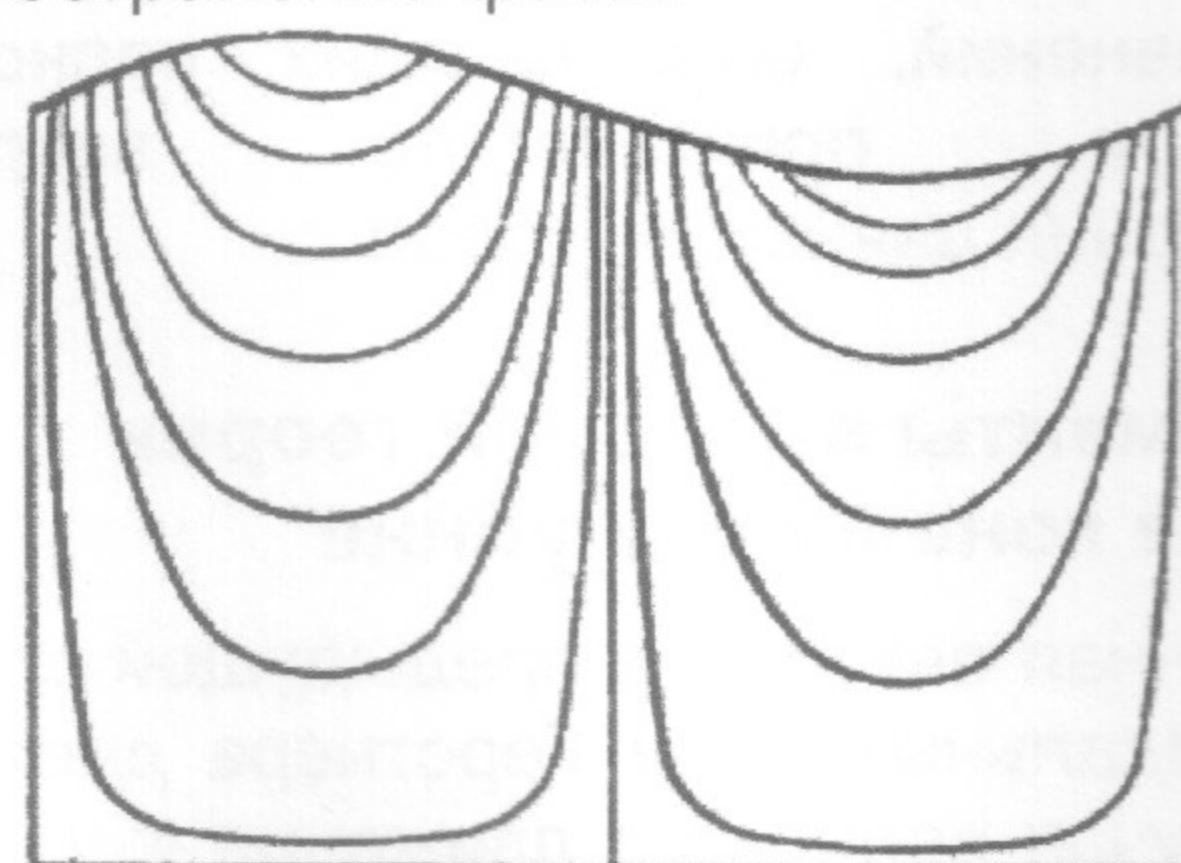


Рис. 2. Картина линий тока волн на воде, имеющей конечную глубину

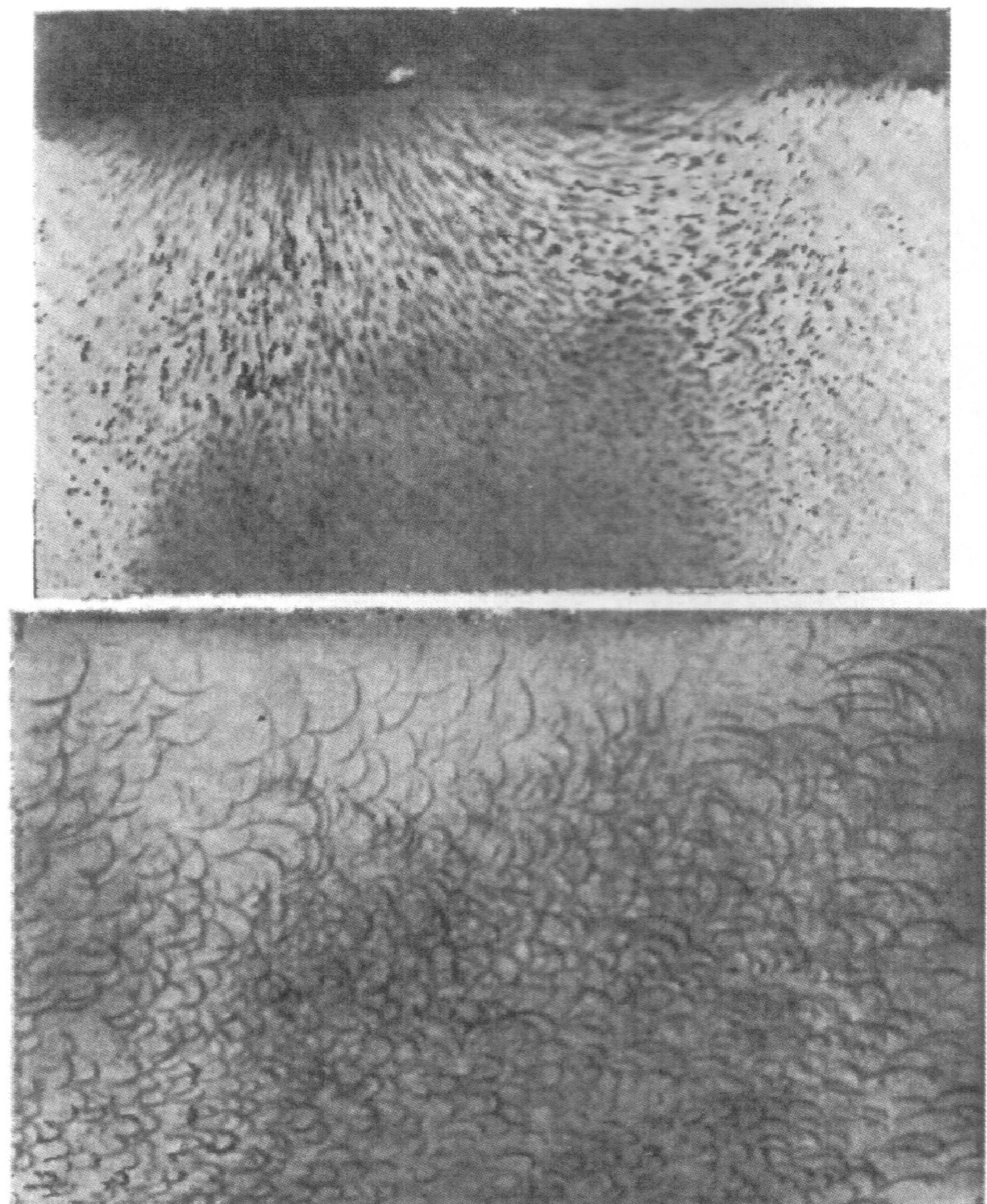


Рис. 3. Результаты опытов Альборна

2. Групповая скорость

Усложнняя полученную модель, рассмотрим группу волн с различными длинами. В таком случае необходимо ввести понятие групповой скорости, определяющей скорость переноса энергии волнами и являющейся важной динамической характеристикой океанических процессов.

Пусть фаза волны распространяется со скоростью V , тогда, если положить показатель $i(kx - \omega t)$, определяющий переменную часть фазы, равным постоянной величине, то получим: $\frac{dx}{dt} = \frac{\omega}{k} = V$. Группа волн, образующаяся при наложении волн различной частоты, распространяется с групповой скоростью U , которая отличается от V . Групповую скорость можно определить следующим образом: $U = \frac{d\omega}{dk}$. При этом, если V

не зависит от длины волны, то:

$$\omega = V k \quad d\omega = V dk \Rightarrow U = V \quad . \quad \text{В общем случае:}$$

$$d\omega = V dk + k \frac{dV}{dk} dk \quad \text{или}$$

$$U = V + k \frac{dV}{dk} = V - \lambda \frac{dV}{d\lambda}.$$

Если $\frac{dV}{d\lambda} > 0$, то групповая скорость меньше

фазовой, а при $\frac{dV}{d\lambda} < 0$ – больше. Исходя из по-

лученного выражения и из формул, выведенных в предыдущем разделе, получим формулу Стокса для групповой скорости волн:

$$U = \frac{V}{2} \left(1 + \frac{4\pi \frac{h'}{\lambda}}{sh\left(4\pi \frac{h'}{\lambda}\right)} \right), \quad (13)$$

где через h' обозначена различная глубина волн. При относительно малой длине волны

$U \approx \frac{V}{2}$, в обратном случае, когда длина волн до-

вольно велика, $U \approx V$.

Рейнолдс и Рэлей выявили связь групповой скорости с переносом энергии. Согласно их теории отношение групповой скорости к фазовой аналогично отношению потока энергии S , прошедшего через некоторое сечение волны τ , к энергии E , содержащейся в области пространства между данным сечением и сечением, отсто-

ящим от него на расстояние $V\tau$: $\frac{U}{V} = \frac{S}{E}$. Если

за τ принять период колебаний, то выражение $V\tau$ будет равно длине волны λ . Тогда E – это превышение энергии колеблющейся над энергией покоящейся жидкости. Так же было доказано,

что среда, в которой $\frac{dV}{d\lambda} > 0$, облегчает перенос

энергии, а среда, в которой $\frac{dV}{d\lambda} < 0$, – затрудняет.

3. Модели волновых процессов

Ниже показаны модели волновых процессов. В таблице приведены соответствующие характеристики.

Таблица 1

Характеристики моделей волновых процессов

	Рисунок 3-а			Рисунок 3-б			Рисунок 3-в		
	Волна	Зыбь 1	Зыбь 2	Волна	Зыбь 1	Зыбь 2	Волна	Зыбь 1	Зыбь 2
Длина	50	80	120	80	120	180	30	70	110
Направление	40	10	70	0	-30	30	60	30	90
Высота	1	0.67	0.20	0.80	0.52	0.23	0.43	0.30	0.18

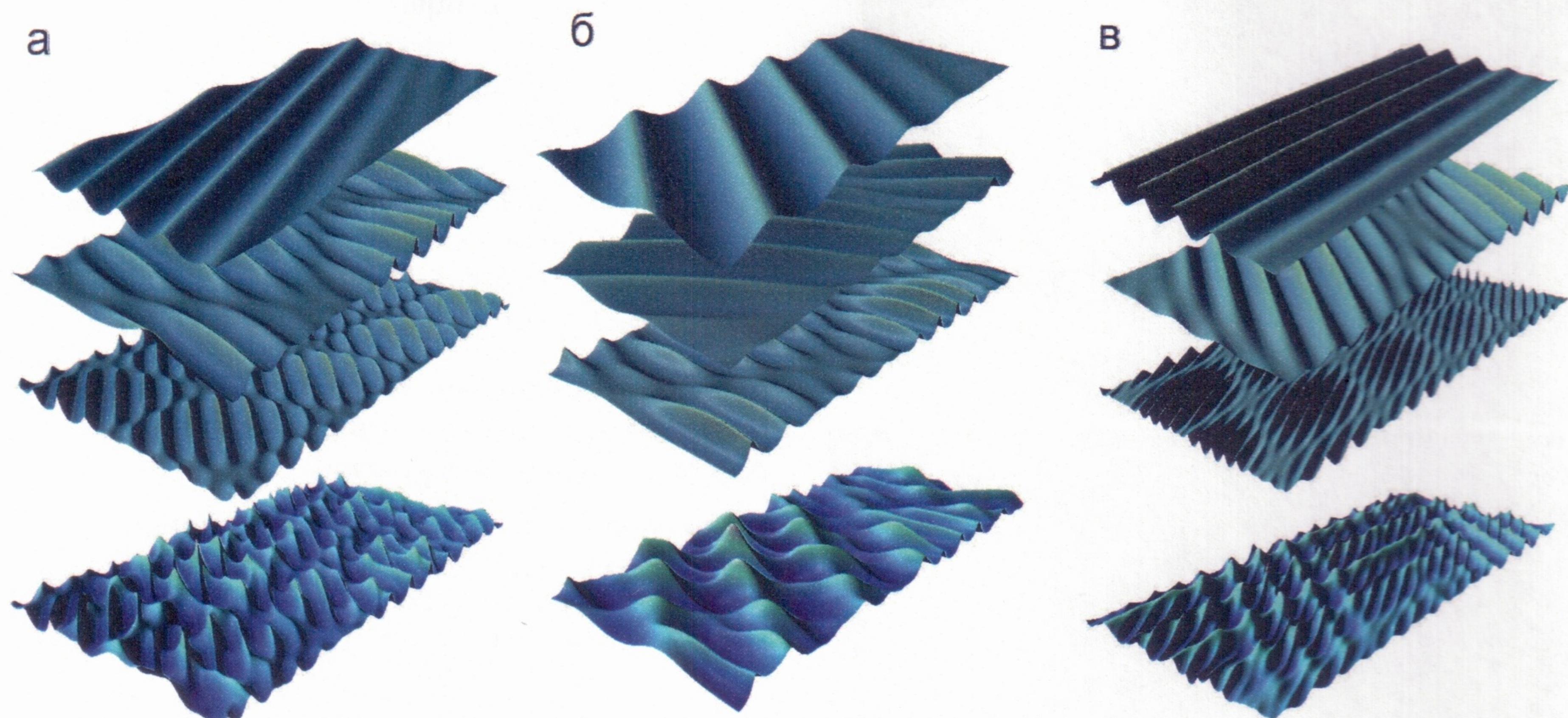


Рис. 3. Модели волновых процессов

Заключение

Вычислительные эксперименты используются во многих областях науки. На численных данных основываются практически все инженерные и естественнонаучные модели. Кроме того, правильно спланированный вычислительный эксперимент может иметь доказательную силу в самой математике, поскольку математический эксперимент, в отличие от физического, не предполагает изменения ее основ, а лишь выполняет техническую роль в получении новых математических знаний.

Для моделирования волновых процессов в океане необходимо численно решить полученные уравнения. Результаты решения необходимо визуализировать. В дальнейшем будет разработано программное обеспечение для компьютерного моделирования океанических процессов с использованием одного из современных языков программирования, например, С++. Предполагается, что программа будет иметь модульную структуру. Это позволит значительно уменьшить время перекомпиляции при изменениях, вносимых лишь в небольшое количество исходных файлов, предоставит возможность замены отдельных компонент конечного продукта без перекомпиляции всего проекта, предоставит удобный для многократного использования интерфейс.

Рассмотренные в статье проблемы моделирования поверхностных волн представляют собой сложные задачи как в теоретическом, так и в практическом смысле. Поэтому развитие вычислительных экспериментов в данной области является важным, перспективным направлением исследований. Именно в этом ключе автором будет продолжена работа по изучению океанических процессов и их моделированию.

Литература

1. Березкин В.А. Динамика моря. – Л.: Гидрометеорологическое издание, 1947.
2. Зоммерфельд А. Механика деформируемых сред. – М.: Издательство иностранной литературы, 1954.
3. Кочин Н.Е., Кильель И.А., Розе Н.В. Теоретическая гидромеханика. – М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1963.
4. Craig W., Sulem C. Numerical simulation of gravity waves / Journal of computational physics. V. 107. – Orlando, Fla.: Academic Press, 1993.