

ПРОВ 98

ПРОВ 2310

АКАДЕМИЯ НАУК УССР
МОРСКОЙ ГИДРОФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

№ 4370-84 Дел.

УДК 551.465.5(261.5)

Д.Н. Голубев, Д.Г. Артемов,
О.Д. Еремин, П.В. Богатирев

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПОЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ
В РАЙОНЕ ГОРЫ ЭКВАТОР ПО ДАННЫМ 16-го РЕЙСА
НИС "ПРОФЕССОР ВОДЯНИЦКИЙ"

Институт биологии
южных морей АН УССР
БИБЛИОТЕКА
№ 3 деп.

Севастополь 1984 г.

16-й рейс НИС "Профессор Водяницкий" (18.01.84-17.05.84г.) проводился по программе исследования биологической продуктивности районов одиночных океанических поднятий. Первый полигон рейса располагался над горой Экватор и по времени (02.02.84 - 12.02.84 г.) приходился на период наибольшего развития северо-восточного муссона. Комплекс исследований над горой Экватор, кроме специализированной гидробиологической съемки, включал в себя два вида работ. Первый из них - две экспресс-съемки поля температуры на полигоне размерами 40х40 миль буксируемым измерителем температуры "Кальмар" (разработка ИГиМ АН УССР). Первая съемка была проведена за 36 часов (02-03.02.84 г.) и по вертикали охватывала слой 60-80 м. Вторая съемка была начата через шесть суток после начала первой (08.02.84 г.), охватывала слой 70-80 м и продолжалась 22 часа. Скорость судна при буксировках составляла 7-11 узлов; съемки были спланированы в виде серии галсов через полигон.

После оглаживания и фильтрации полученных рядов к ним применялась процедура оптимальной интерполяции [2], после чего были построены поля пространственного распределения температуры по полигону. Эти поля приведены на рис. 1. Как видно из рисунка, во время первой съемки на полигоне имели место две локальные области экстремальных значений температуры, характерные для вихревых образований. При этом холодный вихрь располагался непосредственно в районе поднятия, теплый - к югу от него. Горизонтальные размеры образований составляют 15-20 миль. Перепад температуры между их центрами не превышал 2° , что при расстоянии 18 миль определяет величину горизонтального градиента температуры ~ 0.1 град./миля. По данным второй съемки, в южной части полигона наблюдалась локальная область повышенной

ной температуры (теплый вихрь) размерами 12-15 миль и разностью температуры между центром и периферией 0.24 град. В северной половине имели место значительные горизонтальные температурные градиенты (0.16 град./миля), минимум температуры наблюдался в центре северной границы полигона.

Исходя из полученного фактического материала, представляется следующая картина динамики вод в течение рассматриваемого периода. Более холодные воды, расположенные в северной части полигона, за прошедшие от первой до второй съемки шесть суток сдвинулись на север. Если предположить, что по данным второй съемки центр холодного вихревого образования находился в пределах центральной части северной границы, то скорость его перемещения составляла около мили в сутки (или ~ 2 см/сек). Вихревое образование, расположенное южнее поднятия, практически не изменило своего положения, однако его интенсивность за время от первой до второй съемки существенно уменьшилась. Отметим, что вихревые образования топографического типа наблюдались в данном районе и ранее [5], но масштабы их временной изменчивости изучены пока недостаточно.

Второй вид работ из комплекса исследований, проведенных над горой Экватор, состоял из серий вертикальных зондирования прибором МГИ 4103 в четырех точках, отстоящих на десятикилометровом расстоянии от вершины по сторонам света. В западной точке (ст. 2120) было проделано 11 таких зондирований, северной (ст. 2121) - 8, восточной (ст. 2122) - 14, южной (ст. 2123) - 16. Зондирования проводились до глубины 1000 м с часовой дискретностью. Для анализа полученных данных был применен метод эмпирических ортогональных функций (ЭОФ).

Метод разложения в ряд по ЭОФ впервые был применен для

анализа статистических характеристик вертикальной структуры атмосферных процессов [1,7,8]. В океанологии его начали применять сравнительно недавно, преимущественно для анализа вертикальной структуры пульсирующей температуры и скоростей течений [3-6, 9]. Практическая ценность аппарата ЭОФ в значительной степени определяется тем, что основная информация об исследуемом поле заключена в небольшом числе легко рассчитываемых собственных векторов, отвечающих наибольшим собственным числам корреляционной матрицы. Каждое из собственных значений при этом характеризует собой энергию моды соответствующего собственного вектора, что позволяет оценить их относительный вклад в полную дисперсию процесса.

Пусть задано случайное поле $f(t, z)$ гидрофизического параметра, образующее последовательность наблюдаемых значений $\{f_i(z_j)\}$, $i = 1, 2, \dots, N$, $j = 1, 2, \dots, M$. Предполагается, что для данной последовательности выборочное среднее по времени равно нулю

$$\overline{f(z_j)} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N f_i(z_j) = 0.$$

Здесь черта сверху обозначает осреднение по времени, N - число отсчетов по времени, M - число точек (горизонтов) наблюдений.

Поставим своей задачей подобрать такие функции $T(t) = \{T_i\}$ и $Z(z) = \{Z_j\}$, произведение которых наилучшим образом (в смысле среднеквадратичного отклонения) аппроксимировало бы данное поле.

Для этого необходимо выполнить условия, обеспечивающие минимум ошибки аппроксимации

$$\Delta = \sum_{j=1}^M (F_{ij} - T_i Z_j)^2 = \min. \quad (1)$$

Можно показать (см., например, [9]), что выполнение таких условий приводит к задаче на собственные значения

$$\sum_{k=1}^M A_{jk} Z_k = \lambda Z_j, \quad (2)$$

где величины

$$A_{jk} = \frac{1}{N} \sum_{p=1}^N F_{pj} F_{pk} \quad k = 1, 2, \dots, M \quad (3)$$

являются корреляционными моментами данной последовательности наблюдений для горизонтов с номерами j, k .

Из (3) следует, что корреляционная матрица $A = \|A_{jk}\|$ - квадратная и симметричная. Как известно, в этом случае все собственные числа $\lambda = \lambda_k$ матрицы A будут действительными положительными числами, а ее собственные векторы образуют ортогональную систему. Ортогональность функций Z_{kj} позволяет находить функции $T(t)$ по известной формуле (индексом k в дальнейшем будем обозначать номер собственного значения и соответствующего ему собственного вектора

$$T_k = \{T_{ki}\} = \frac{\sum_{j=1}^M F_{ij} Z_{kj}}{\sum_{j=1}^M Z_{kj}^2}. \quad (4)$$

Совокупность $Z_k = \{Z_{kj}\}$ называется эмпирическими ортогональными функциями, причем в силу полноты базиса собственных векторов корреляционной матрицы в пространстве M измерений имеет место тождество

$$F = Z_k T_k. \quad (5)$$

Эффективность представления исходного поля в виде (5) зависит от соотношения величин λ_k . С точки зрения статистики [1], представление (5) есть разложение исходных полей по наиболее часто встречающимся комбинациям, причем наиболее часто из них имеют место те комбинации (собственные вектора корреляционной матрицы), которые обладают большими собственными числами (большим весом в данной совокупности полей).

Обсуждение результатов начнем с анализа кривых распределения вертикальных градиентов средней температуры $\partial \bar{T} / \partial z$ и дисперсии σ^2 (рис. 2). Общей чертой для всех станций является соответствие глубины залегания экстремумов распределения дисперсии и градиента средней температуры. Большая часть пульсационных движений приходится на всех станциях на верхний 300-метровый слой. Для этого же слоя характерны и наибольшие величины $\partial \bar{T} / \partial z$. Отметим разный уровень энергии колебаний в максимуме σ^2 для ст. 2121 и остальных трех. Кроме этого, на данной станции абсолютный максимум σ^2 приходится на горизонт ~ 150 м, тогда как на ст. 2120 и 2123 он расположен на 75 м выше. На ст. 2122 в верхнем слое наблюдалось два примерно одинаковых по уровню экстремума σ^2 , расположенных на 50 и 150 м.

Обратимся далее к таблице, где приведены рассчитанные значения

$$\eta_j = \frac{\sum_{i=1}^j \lambda_i}{\sum_{i=1}^M \lambda_i} \quad j = 1, 2, \dots, M,$$

характеризующие последовательный энергетический вклад каждой моды 30% (в процентах) для каждой станции.

Как видим, уровень энергетического вклада каждой моды для всех станций примерно одинаков. Первая мода составляет 60-70% всей дисперсии, причем 70-типроцентный уровень наблю-

даются на южной (2I2I) и северной (2I23) станциях, расположенных в точках с более динамичным режимом, чем западная (2I20) и восточная (2I22). 90-процентный уровень энергии достигается для всех станций при сложении трех первых мод.

Таблица

N_n \ Ст. N	2I20	2I2I	2I22	2I23
I	60.77	71.3I	63.0I	73.53
2	84.76	86.1I	88.43	85.92
3	90.90	93.97	94.35	91.18
4	95.05	97.6I	96.30	94.9I
5	97.28	98.90	97.75	97.29
6	98.27	99.49	98.74	98.13
7	99.06	100.00	99.14	98.73
8	99.7I	-	99.47	99.17
9	99.94	-	99.68	99.42
10	100.00	-	99.80	99.64
11	-	-	100.00	99.77
12	-	-	-	99.89
13	-	-	-	100.00

На рис. 3 представлены зависимости $Z_k(z)$ для $k = 1, 2, 3$, соответствующие наибольшим собственным значениям. Из сравнения рассчитанных кривых видно, что примерно одинаково для всех станций изменяется с глубиной первый собственный вектор ЭОЗ. Для него характерно наличие одного или двух максимумов в верхнем 200-метровом слое, причем количество этих максимумов и их положение по глубине соответствует экстремумам вертикального распределения дисперсии колебаний. Ниже

200-метровой отметки кривые первой моды затухают с ростом глубины. Вид второго собственного вектора неоднозначен для разных станций. Отличия здесь и в количестве экстремумов по глубине, и в номерах горизонтов, где они наблюдались, и в общем характере распределения $Z_2(z)$. Эти же особенности присущи и третьему собственному вектору ЭОФ.

Знание профилей $Z_k(z)$ позволяет найти по формуле (4) последовательность функций $T_k(t_i)$ ($i = 1, 2, \dots, N$), что дает возможность строить приближения f' по формуле (5). В результате такого моделирования получаем поля более простой структуры, которые обеспечивают аппроксимацию исходных полей с ошибкой, о величине которой можно судить из приведенной таблицы. Исследование свойств этих приближений непосредственно связано с задачей оптимальной параметризации вертикальной структуры поля температуры.

Осуществлялся также расчет кривых вертикального распределения дисперсии различных приближений по формуле

$$\sigma_m^2(z_j) = \sum_{k=1}^m \lambda_k Z_k^2(z_j) \quad k, j = 1, 2, \dots, M.$$

Сравнивая полученные кривые с вертикальным распределением полной дисперсии (рис. 4), можно проследить, на какой глубине какие из собственных векторов корреляционной матрицы дают наибольший вклад. Для всех станций до глубины 100-200 м основной вклад дает первая мода. С ростом глубины повышается "удельный вес" собственных функций более высокого порядка. Так, на ст. 2120 (горизонт 150 м) вклад второй моды в общую дисперсию составляет более 50%. Еще более значителен "вес" второй и третьей мод в формировании глубинных (ниже 200 м) экстремумов дисперсии колебаний, где их вклад превышает 90%.

Оформулируем теперь кратко основные выводы работы.

1. По данным двух экспресс-съемок полигона выявлена значительная пространственно-временная изменчивость поля температуры над горой Экватор. Оценки скоростей перемещения вихревых образований в пределах полигона оставили ~ 2 см/сек.

2. Вертикальное распределение температуры на полигоне с ошибкой 15% может быть представлено суммой двух эмпирических мод.

3. Максимум дисперсии флуктуаций температуры на всех станциях приходится на верхний 200-метровый слой и обусловлен в основном первой модой ЭОФ.

4. Глубинные (ниже горизонта 200 м) экстремумы дисперсии колебаний сформированы второй и третьей модами, вклад которых в суммарную дисперсию может достигать 90%.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Багров Н.А. Аналитическое представление метеорологических полей посредством естественных ортогональных составляющих. - Тр. Центр. ин-та прогнозов, 1959, вып. 74, с. 3-24.
2. Беляев В.И. Обработка и теоретический анализ океанографических наблюдений. "Наукова думка", Киев, 1973, 296 с.
3. Василенко В.М., Гаврилин Б.Л., Мирабель А.П. Статистические характеристики вертикальной структуры течений в Атлантическом океане. - Изв. АН СССР, ФАО, 1972, 8, № 10, с. 1042-1051.
4. Василенко В.М., Мирабель А.П. О параметризации вертикальной структуры течений в Тропической Атлантике с помощью статистических ортогональных функций (СОФ). Океанология, 1976, т. 26, № 2, с. 222-228.

5. Косырев В.К., Шапиро Н.Б. Синоптическая изменчивость северо-западной части Индийского океана. Препринт. Севастополь, 1981, 44 с.
6. Кортаев Г.К., Косырев В.К., Шевченко Э.А. Структура возмущений поля температуры синоптических вихревых образований. - Морские гидрофизические исследования, 1979, № 3, с. 167-174.
7. Мещерская А.В., Руховец Л.В., Оudin М.И., Яковлева Н.И. Естественные составляющие метеорологических полей. Гидрометеонадат, Л., 1970, 197 с.
8. Обухов А.М. О статистически ортогональных разложениях эмпирических функций. Изв. АН СССР, Серия геофиз., 1960, № 3, с. 432-439.
9. Moore J. Empirical orthogonal function - a non-statistical view. Mode News, 1974, № 67, p.1-6.

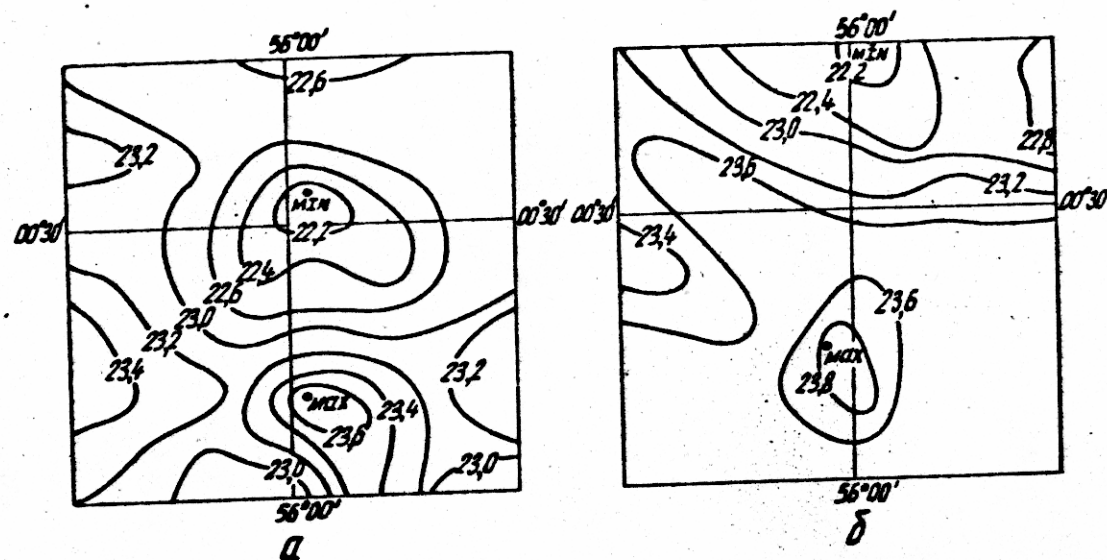


Рис. I. Пространственное распределение температуры воды по результатам первой (а) и второй (б) съемок.

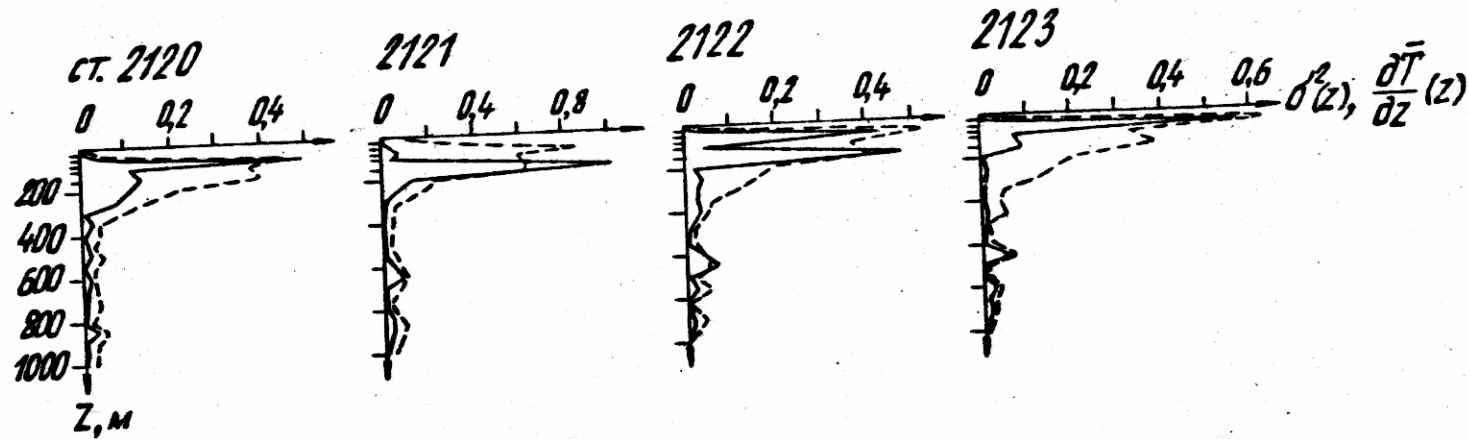


Рис. 2. Вертикальное распределение дисперсии флуктуаций температуры (сплошные линии) и градиента средней температуры (пунктирные кривые).

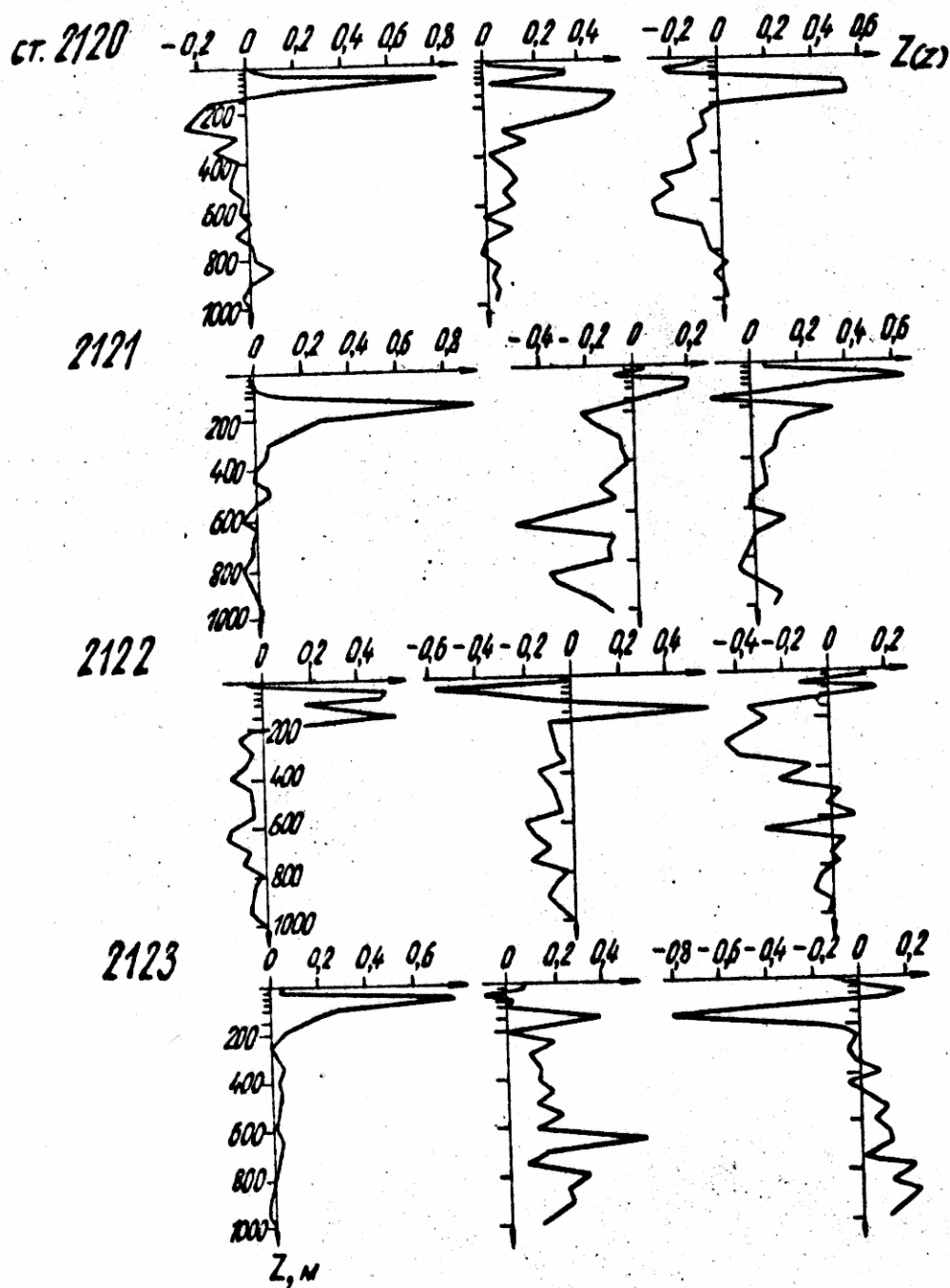


Рис. 3. Первые три моды ЭОФ, соответствующие наибольшим собственным значениям корреляционной матрицы для каждой из четырех станций.

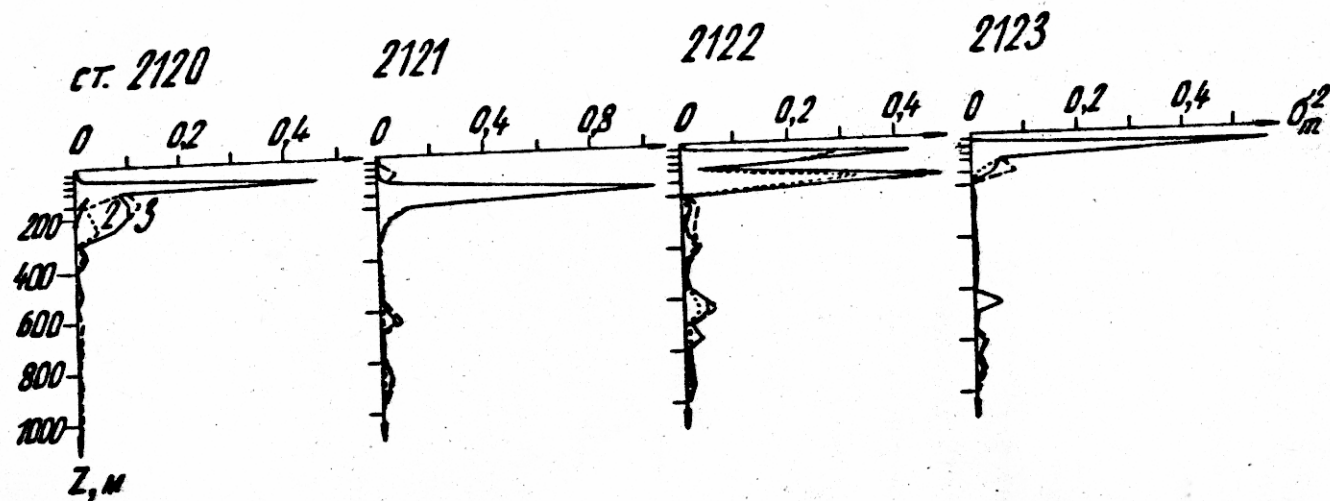


Рис. 4. Вертикальное распределение дисперсии колебаний трех последовательных приближений. Нумерация приближений приведена на первом из четырех рисунков.

- 15 -

Печатается в соответствии
с решением Ученого совета
Морского гидрофизического
института АН УССР
от 28 сентября 1984г.

В печать 10. 11. 84.

Тир. 1

Цена 1 руб. 50 коп. Зак. 32792

Производственно-издательский комбинат ВИНТИ.
140010, Люберцы, Московской обл. Октябрьский пр., 403.

4570-84