

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ "СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УПРАВЛЕНИЯ
РАЗВИТИЕМ РЕКРЕАЦИОННЫХ СИСТЕМ"

№ 5804-B87

УДК 551.465.15

А.М.Чухарев, Е.Н. Ковалев

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТУРБУЛЕНТНОЙ
ДИФФУЗИИ ПРИМЕСИ В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ МОРЯ

Исследованию распространения примеси в водоемах в последнее время уделяется много внимания. Это в определенной степени с возросшим потоком загрязняющих веществ, образующихся в результате хозяйственной деятельности человека и тем или иным образом попадающих в водоем.

В данной работе приводятся результаты натурных экспериментов 1984 - 1985 г.г. по исследованию диффузии примеси флуоресцирующего красителя. Эксперименты проводились на стационарной океанографической платформе МГИ АН УССР в п. Кацивели.

Распространение пассивной примеси в жидкости обычно описывается полуэмпирическим уравнением турбулентной диффузии:

$$\frac{\partial \bar{c}}{\partial t} + \bar{u}_i \frac{\partial \bar{c}}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(K_{ij} \frac{\partial \bar{c}}{\partial x_j} \right) \quad (1)$$

где $\bar{c}$ - средняя концентрация примеси, $\bar{u}_i$ - средние скорости течения вдоль декартовых осей координат, x_i - декартовы координаты, K_{ij} - тензор коэффициентов турбулентной диффузии. Уравнение (1) можно упростить, если пренебречь недиагональными компонентами K_{ij} и диффузией вдоль направления среднего течения. Тогда для точечного стационарного источника примеси будем иметь:

$$u \frac{\partial c}{\partial x} = K_y \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} + K_z \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} \quad (2)$$

где u - скорость постоянного течения вдоль горизонтальной оси x , K_y и K_z - постоянные коэффициенты диффузии вдоль соответствующих осей. Ось y направлена перпендикулярно течению по поверхности воды, ось z направлена вертикально вниз. Начало координат совпадает с источником примеси на поверхности воды

Решение уравнения (2) с граничным условием "отражения" примеси от плоскости $z=0$ и условием ограниченности функции $c(x, y, z)$ на бесконечном удалении от источника имеет вид:

$$c(x, y, z) = \frac{2q}{4\pi x \sqrt{K_y K_z}} \exp \left[-\frac{u y^2}{4 K_y x} - \frac{u z^2}{4 K_z x} \right] \quad (3)$$

где q - количество примеси, испускаемое источником в единицу времени (мощность источника). Зная концентрацию примеси в двух различных точках, можно вычислить коэффициенты вертикального и горизонтального обмена K_z и K_y .

Для изучения диффузии одновременно в горизонтальной и вертикальной плоскостях удобно использовать флуоресцентные красители - они обладают интенсивным свечением в видимой части спектра электромагнитных волн. В данной работе использовались флуоресцин и родамин 6 Ж.

Установка для выпуска красителя в море была подобна описанному в /1-3/ и позволяла имитировать неподвижный точечный источник, равномерно испускающий примесь в течение некоторого промежутка времени. Основное преимущество такого стационарного источника перед "мгновенным" в том, что вытягивающийся вдоль течения "шлейф" диффундирующей примеси можно считать на близких расстояниях от источника и по истечении некоторого промежутка времени от начального момента выпуска статистически стационарным. И для получения средней картины распределения концентрации индикатора в диффундирующей струе достаточно осуществить ряд съемок на различных расстояниях от источника, причем в период стационарного режима такие съемки представляют собой отдельные реализации некоторого случайного процесса и их можно производить в любой момент времени /1/. Во время опреде-

ления концентрации красителя при исследовании мелкомасштабной диффузии важно не вносить дополнительных возмущений, могущих повлиять на естественность процесса. Это позволяет сделать фотографический метод исследования.

В проведенных экспериментах краситель выпускался на поверхность воды, на фиксированных расстояниях от точки выпуска располагались масштабные рейки Т-образной формы. Ширина струи на поверхности вдоль оси y определялась визуально по меткам на рейках. Одновременно производилась подводная фотосъемка струи примеси с помощью специальной подводной фотокамеры на панхроматическом фотоматериале КН-3. По негативам с помощью микрофотометра ИФО-45I были получены кривые оптической плотности поперечных сечений диффундирующей струи. Почернение негатива можно считать однозначно зависящим от концентрации красителя и для одной пленки отношение концентраций C_1/C_2 , определенных в двух различных точках по оси y или z , можно с определенной степенью точности считать не зависящим от условий освещенности, характеристики пленки, условий ее обработки и прочих факторов. Таким образом, можно определить коэффициенты диффузии вдоль осей y и z из систем уравнений, составленных по формуле (3) для соответствующих точек на расстояниях x_1 и x_2 от источника примеси:

$$K_y = \frac{u y^2}{4 \ln \left(\frac{x_2 C_2}{x_1 C_1} \right)} \left(\frac{1}{x_1} - \frac{1}{x_2} \right); K_z = \frac{u z^2}{4 \ln \left(\frac{x_2 C_2}{x_1 C_1} \right)} \left(\frac{1}{x_1} - \frac{1}{x_2} \right)$$

где y и z - расстояние вдоль осей координат от оси Ox до точек, в которых определялась концентрация.

Осредненные экспериментальные кривые распределения красителя вдоль оси координат, как известно, аппроксимируются формулой (3) тем лучше, чем по большему числу реализаций велось осреднение. В проведенных экспериментах число реализаций было 10-12 для каждого сечения, что обеспечивало достаточно малую ошибку аппроксимации /3/.

Результаты расчетов помещены в таблице. Высота волн определялась по струнному волнографу. Через a и b

обозначены расстояния от оси до видимой границы струи красителя вдоль осей x и y соответственно. Цифры указывают для какого сечения они определены. Скорость течения определялась по данным измерителя БПВ-2. Из сравнения величин K_x и K_y видно, что непосредственно вблизи источника вертикальный коэффициент диффузии превосходит горизонтальный, хотя обычно считается, что для малых масштабов $K_y = K_x$, а с ростом масштаба явления K_y начинает превосходить K_x /1/. По-видимому, доминирование K_x в начальной стадии рассеяния облака красителя объясняется тем, что в упорядоченном двумерном волнении вертикальные градиенты скорости больше горизонтальных в направлении гребня волны, т.е. $\frac{\partial v}{\partial y} < \frac{\partial v}{\partial x}$, где v - орбитальная скорость частиц в волне.

Таблица

$h, \text{см}$	$u, \frac{\text{см}}{\text{с}}$	$a_1, \text{см}$	$b_1, \text{см}$	$a_2, \text{см}$	$b_2, \text{см}$	$K_y, \frac{\text{см}^2}{\text{с}}$	$K_x, \frac{\text{см}^2}{\text{с}}$
10	16	30	20	100	60	2,7	5,9
15	16	40	25	110	75	5,8	14,8
30	8	30	35	110	90	7,9	8,3
20	12	40	30	60	45	5,4	12,4
50	25	30	25	50	40	11,1	25,4
15	10	25	20	50	35	3,4	10,0

Л и т е р а т у р а

1. Озмидов Р.В. Горизонтальная турбулентность и турбулентный обмен в океане. - М.: Наука, 1968, - 200 с.
2. Журбас В.М., Муравьев С.С., Татарев Т.М. Экспериментальное исследование турбулентной диффузии струй примеси в поверхностном слое моря. - Океанология, 1975, т. 15, № 4, с. 611-615.
3. Озмидов Р.В., Гагенцвей А.Н., Ле-Куанг-Тоай и др. Экспериментальное исследование диффузии искусственно вносимых в море примесей. - В кн.: Исследование океанической турбулентности. - М.: Наука, 1973, с. 64-73.