

В. Н. АНУЧИН, В. П. ПЕТРОВ, Ю. Г. ПЫРКИН, Б. И. САМОЛЮБОВ,  
П. М. СТЕПУНИН

## О ПРИДОННЫХ ПЛОТНОСТНЫХ ТЕЧЕНИЯХ В ПРИУСТЬЕВОЙ ЗОНЕ Р. ДУНАЯ

Вопрос об образовании и распространении придонных плотностных течений в морях и океанах очень важен для решения целого ряда задач физики моря. Причины возникновения придонных плотностных потоков различны [1]. Одной из них является вынос реками мелких взвешенных частиц, которые могут создавать в придонной области тонкий слой более плотной, чем морская вода, жидкости. Известно [1, 2, 3], что

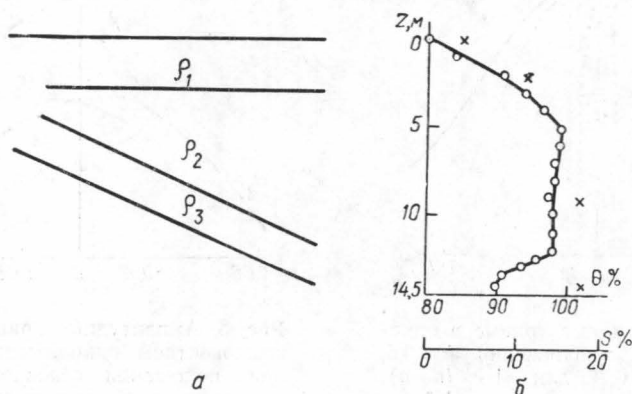


Рис. 1

придонные плотностные потоки достаточно устойчивы и могут распространяться на большие расстояния от места их зарождения. В связи с этим возникает необходимость внимательного рассмотрения механизма возникновения придонных плотностных течений в приустьевых зонах морей. Пресная речная вода в приустьевой зоне распространяется по поверхности более плотной соленой морской воды. Твердые взвешенные частицы создают в придонной области слой более плотный, чем морская вода. Таким образом в приустьевой зоне моря образовывается три ярко выраженных слоя. На рис. 1 схематически показаны все три слоя жидкости в приустьевой зоне моря.  $\rho_1$  — плотность распресненной воды,  $\rho_2$  — плотность морской воды,  $\rho_3$  — плотность придонного слоя, образовавшегося за счет наличия в этой области мелких взвешенных частиц. Для  $\rho_1$ ,  $\rho_2$ ,  $\rho_3$  справедливо выражение  $\rho_1 < \rho_2 < \rho_3$ .

Естественно, плотности этих трех слоев жидкости неоднородны и не постоянны, однако с некоторой степенью точности, достаточной для выяснения физической сути явления, можно полагать их однородными. Казалось бы, что твердые взвешенные частицы, находящиеся в речной воде, должны просто осесть на дно и не образовывать никакого плотностного слоя. Действительно, если бы не существовало уклона дна, то эти частицы пронеслись бы на некоторое расстояние (в зависимости от их крупности) и оседали на дно. Но за счет имеющегося уклона существует составляющая сила тяжести, направленная вдоль уклона.

Известно также [2, 4], что при разности плотностей морской воды и плотностного потока порядка  $10^{-4}$  г/см<sup>3</sup> плотностной поток распространяется, не смешиваясь с чистой водой. Таким образом, под действием гравитационной силы тонкий придонный слой жидкости начинает движение в виде суспензионного потока.

Не останавливаясь на причинах, поддерживающих мелкие частицы во взвешенном состоянии, отметим, что турбулентные характеристики придонных плотностных течений имеют ряд особенностей [5, 6]. Так, вертикальное распределение турбулентного напряжения имеет два максимума. Один непосредственно у дна, другой в зоне раздела двух жидкостей разной плотности. Возникнувший придонный плотностной поток распространяется вдоль уклона дна. При наличии в приустьевой зоне местных

течений характеристики придонного плотностного потока будут существенно зависеть от особенностей этих течений.

Летом 1972 г. с борта НИС «Московский университет» проводились натурные исследования характеристик придонных плотностных течений в приустьевой зоне р. Дунай. Измерялись вертикальные профили прозрачности морской воды, величина и направление скорости течения в придонной области, а также величина и направление скорости ветра. Прозрачность измерялась фотозлектрическим методом. Измерения проводились на 22-х станциях, располагающихся в различных точках приустьевой зоны.

Измерения показали (рис. 1, б), что вертикальное распределение прозрачности можно разделить на три основные зоны. Первая зона пониженной прозрачности рас-

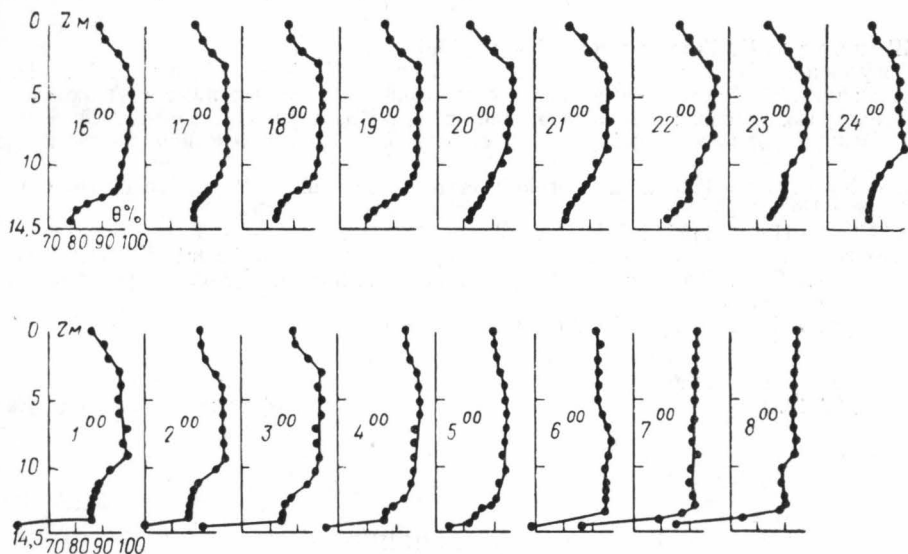


Рис. 2

пресненной воды, вторая зона более высокой прозрачности соленого клина и, наконец, третья зона опять пониженной прозрачности в придонной области, образовавшейся за счет наличия взвешенных частиц. Крестиками на рисунке показаны точки, в которых проводились измерения солености. Соленость воды на поверхности равна 4‰ на границе первой зоны (границей считалось положение максимальных градиентов прозрачности) — 11,4‰, в среднем и нижнем слоях 17‰ и 17,4‰. Рис. 1, б подтверждает вышеизложенную схему формирования придонного плотностного потока в приустьевой зоне, показанную на рис. 1, а.

На станциях № 10, 11, 12, 13, 15, 17, 18 профили прозрачности подобны показанному на рис. 1, б. На остальных станциях придонного слоя пониженной прозрачности не наблюдалось. Этот факт легко объясняется из измерений скорости в придонной области. Как показали эти измерения скорость в придонной области равна 40 см/сек. Таким образом, в момент измерения в приустьевой зоне Дуная существовало течение, которое препятствовало распространению придонного плотностного потока в сторону открытого моря, заставляя его распространяться вдоль береговой черты. На направление течения придонного плотностного потока также оказывала влияние сложная конфигурация дна (на юге приустьевой зоны Дуная уклон значительно больше, чем на севере).

На станции № 15 производилось измерение вертикального профиля прозрачности, а также величина и направление придонного течения на протяжении 17-ти часов в условиях развивающегося шторма. Из рис. 2 видна картина изменения вертикального профиля прозрачности во времени. От 16 час до 0 час скорость ветра была почти постоянной (4—5 м/сек), начиная с 0 час скорость монотонно возрастает и к 5 часам она уже достигает 10 м/сек. Далее она меняется незначительно (9—10 м/сек). Четко разделенные по прозрачности слои морской воды под влиянием ветрового волнения начинают перемешиваться и, наконец, к 7 час вертикальный профиль прозрачности становится близким к профилю прозрачности в однородном море. Следует отме-

тять также (см. рис. 2), что смешение морской воды с придонным потоком происходит медленнее, чем в верхней приповерхностной части.

Таким образом, из результатов измерений следует, что в приустьевой зоне р. Дунай наблюдаются придонные плотностные течения в виде суспензионных потоков.

К сожалению, из-за метеорологических условий не удалось наблюдать развитие придонного плотностного течения в чистом виде, однако из приведенных измерений следует, что плотностные течения, образующиеся в приустьевых зонах морей, могут оказывать существенное влияние на гидрологические характеристики этих областей моря.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Шепард Ф. П. Геология моря. Л.—М., 1951.
2. Анучин В. Н., Гусев А. М., Михайлова Н. А., Петров В. П., Пыркин Ю. Г. Экспериментальное исследование плотностных придонных потоков в натуральных условиях и моделирование их на лабораторных установках. Материалы Международного симпозиума по стратифицированным течениям. Новосибирск, 1972.
3. Leahy R. G. Sediments and turbidity currents Oceanus, 6, No. 2, Woods Hole Oceanogr. Inst., 1959.
4. Stetson H. C., Smith I. E. Amer. J. Sci., 1938.
5. Georgiev B. V. Some experimental investigation on turbulent characteristics of stratified flows. Материалы Международного симпозиума по стратифицированным течениям. Новосибирск, 1972.
6. Lofquist K. The Phys. of Fluids, 3, No. 2, 1960.

Поступила в редакцию  
4.7 1973 г.

Кафедра  
физики моря и вод суши

УДК 533.70

Е. В. СТУПОЧЕНКО

### О КИНЕТИКЕ РЕЛЕЕВСКОГО ГАЗА С ПРОИЗВОЛЬНОЙ ФУНКЦИЕЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЛЕГКИХ ЧАСТИЦ

Вопросы кинетики газовых систем с существенно неравновесными функциями распределения возникают в различных областях физики и химии. Ниже рассматривается релеевский газ с произвольным распределением легких частиц по скоростям (реализующем, например, при воздействии источников частиц).

Пусть  $f(E, t)$  — плотность распределения тяжелых частиц ( $R$  — частиц) в пространстве энергии  $E = \frac{M\vec{c}^2}{2}$ , где  $M$  — масса  $R$ -частицы,  $\vec{c}$  — ее скорость. При достаточно малом значении отношения  $\frac{m}{M}$ , где  $m$  — масса частицы легкого газа (в котором  $R$ -частицы составляют небольшую примесь), газокINETическое уравнение переходит в уравнение Фоккера — Планка

$$\frac{\partial f(E, t)}{\partial t} = - \frac{\partial}{\partial E} \left\{ \frac{\langle \Delta \rangle}{\tau} f(E, t) \right\} + \frac{\partial^2}{\partial E^2} \left\{ \frac{\langle \Delta^2 \rangle}{2\tau} f(E, t) \right\}, \quad (1)$$

где  $\tau$  — время свободного пробега  $R$ -частицы,  $\Delta \equiv \Delta E$  — изменение  $E$  при столкновении,  $\langle \rangle$  обозначает усреднение по всем возможным столкновениям.  
Так как

$$\Delta E = Mc |\Delta \vec{c}| \cos \beta + M \frac{|\Delta \vec{c}|^2}{2},$$