

ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОБЛЕМЫ СБРОСА СТОЧНЫХ ВОД В ПРИБРЕЖНУЮ ЗОНУ ЧЕРНОГО МОРЯ

В.И. Зац

Рациональное удаление сточных вод в море - одна из актуальнейших народнохозяйственных проблем, решение которой определяет возможность использования различных ресурсов морей и океанов /биологических, минеральных, водных и др./. В конечном счете сброс сточных вод в море должен осуществляться так, чтобы устранить загрязнение прибрежной зоны как одного из основных условий санитарной охраны морских вод.

Рациональное удаление сточных вод в море - сложная и комплексная проблема и ее решение следует искать на основе сотрудничества различных наук: океанографии, гидробиологии, санитарии, инженерно-технических наук.

Океанографические аспекты этой проблемы должны характеризовать, как море "гидродинамически справляется" со сбрасываемыми сточными водами или другими загрязняющими примесями, т.е. как происходит их перенос течениями /с учетом сточно-нагонной циркуляции, вертикальных токов и др./, как они перемешиваются и рассеиваются окружающими водами благодаря процессам турбулентной диффузии /горизонтальной и вертикальной/, какова роль плотностной стратификации вод и т.д.

Океанографические факторы /волны, течения, турбулентная диффузия, плотностная стратификация и др./ оказывают решающее влияние на судьбу сточных вод в море и поэтому их учет и использование - одно из главных условий для успешного решения этой проблемы.

Основные вопросы, которые подлежат изучению, сформулированы в нашей работе [3].

В данной статье из комплекса океанографических факторов, влияющих на поведение сточных вод в море, рассматривается два, наименее изученных: эффект плотностной стратификации вод при глубинном сбросе сточных вод и некоторые вопросы горизонтальной турбулентной диффузии применительно к приглубым побережьям Черного моря /Южный Крым, Кавказское побережье/.

Эффект плотностной стратификации вод

При глубоководном сбросе сточных вод эффект плотностной стратификации может устранить загрязнение поверхностного слоя воды. Это происходит тогда, когда первоначальное смешение сточных вод с придонными более плотными водами приводит к образованию смеси, плотность которой выше плотности поверхностных вод. В этом случае образующаяся смесь /из сточных и придонных вод/ поднимется до уровня, где его плотность становится равной плотности окружающих вод. Использование этого эффекта говорит о больших его возможностях. По данным Н. Брукса [7], А. Роуна и соавторов [10] и др. при использовании плотностной стратификации в прибрежной зоне удается предотвратить выход смеси /сточных и придонных вод/ в поверхностный слой. Так, по опыту эксплуатации выпусков в районе Калифорнии при сбросе сточных вод на глубину порядка 65-96 м большей частью всплывающая смесь не поднималась в верхний слой толщиной 15-30 м, а переносилась, рассеивалась и разбавлялась в погруженном виде.

Естественно, что со временем в результате вертикального обмена между глубинными и поверхностными водами сточные воды могут попасть в поверхностный слой. Однако со временем они /имеются в виду отходы без радиоактивных примесей/ теряют свои опасные свойства вследствие отмирания бактериального загрязнения в морской среде, процессов минерализации органических остатков, осаждения взвесей и полувзвесей, а также вследствие интенсивного переноса, рассеяния и разбавления, обусловленных океанографическими факторами.

В Черном море имеются весьма благоприятные условия для использования эффекта плотностной стратификации и слоев скачка плотности. Океанографические особенности этого моря обуславливают весьма четкую плотностную переслоенность, которая по своим

масштабам значительно превосходит условия стратификации в других морях.

Для оценки влияния плотностной стратификации на процесс подъема и смешения были использованы формулы смешения [4] с фактором разбавления в интерпретации А. Роуна и соавторов [10]:

$$\rho_{см} = \frac{(N-1)\rho_{пр} + \rho_{ст}}{N}, \quad /1/$$

где $\rho_{см}$ - плотность образующейся смеси из сточных и придонных вод;

$\rho_{ст}$ - плотность сточных вод;

$\rho_{пр}$ - плотность придонных вод в зоне глубоководного сброса;

N - фактор разбавления, который означает, сколько частей смеси приходится на одну часть сточных вод.

А. Роун и соавторы указывают, что при условии

$$\rho_{см} > \rho_{пов}, \quad /2/$$

/где - плотность вод поверхностного слоя/ смесь из сточных и придонных вод не проникает в поверхностный слой. Расчеты проведены для двухслойной среды на основе фактических наблюдений над плотностью поверхностных и глубинных вод в Черном море. Фактор разбавления N принимался равным $N = 100$, хотя по данным А. Роуна и соавторов степень разбавления при сбросе на глубинах 47-65 м достигает 300-400. Рассматривая два варианта глубинного сброса /75-100 и 125-150 м/, удалось установить, что для первого случая невыход смеси из сточных и придонных вод будет обеспечен в течение 9-10 месяцев в году, так как

$$\rho_{см} > \rho_{пов}.$$

При сбросе на глубинах 125-150 м это условие будет выполняться в течение всего года. Расчеты произведены для наиболее неблагоприятных ситуаций. Учет многослойности толщи вод /в прибрежной зоне Черного моря в теплое время отмечается 3-4 хорошо выраженных слоя/, наличие слоев скачка плотности, учет эффекта уплотнения при смешении разных вод и достижение величины 300-400 - все это служит дополнительным подтверждением невыхода смеси в поверхностный слой.

Таким образом, ориентировочные оценки для некоторых наиболее неблагоприятных условий показывают, что плотностная переслоенность вод Черного моря достаточно велика, чтобы устранить выход сточных вод в поверхностный слой, если заложить выпуски на глубинах 100-150 м.

Получены предварительные данные о высоте подъема факела сточных вод при глубинном сбросе в стратифицированном по плотности водоеме. Для этого использовался метод Н. Брукса и Р. Коха [8] для неподвижной среды. Расчеты по формуле Брукса показали, что при сбросе в Черное море на глубинах 75-100 м высота подъема факела сточных вод в 1,5-2,0 раза меньше, чем высота слоя воды. Это обеспечивается в течение 8-10 месяцев в году. При сбросе на глубинах 150 м почти в течение всего года факел сточных вод не проникнет в поверхностный слой. Отмечается, что с учетом течения/горизонтальный перенос/ высота подъема факела сточных вод будет значительно меньше, чем для рассмотренного случая неподвижной среды. Это подтверждается работой А.М. Дановича и С.Г. Зейгера [17], в которой показано, что высота подъема дымового факела /при выбросах из труб в атмосферу/ с ростом скоростей ветра уменьшается в 3-5 раз, по сравнению с высотой подъема при безветрии.

Дальнейшие исследования должны учитывать количественное влияние горизонтального переноса и различных моделей плотностной стратификации на высоту подъема факела сточных вод. Это позволит определить необходимые условия сброса сточных вод для устранения их выхода в поверхностные слои водоемов.

Некоторые вопросы горизонтальной турбулентной диффузии в прибрежной зоне

Экспериментальное исследование прецессов горизонтальной диффузии в прибрежной зоне Южного Крыма [2] позволило выявить некоторые закономерности этого явления для определения интенсивности горизонтального рассеяния.

Установлено, что коэффициенты горизонтальной диффузии / $K(1)$ / существенно зависят от масштаба явления.¹ /например, от размеров диффундирующих пятен или потоков/. Однако в

узкой прибрежной зоне шириной до 0,5-0,8 миль отмечаются отклонения от известного "закона 4/3":

$$K(l) = c l^{4/3}, \quad /3/$$

где c - некоторый постоянный коэффициент.

По данным свыше 2000 определений показатель степени при l оказался равным 0,4, что почти в 3 раза меньше, чем в формуле /3/. Эксперименты, проведенные в 2,5-5 милях от берега, показали, что в этой зоне "закон 4/3" выполняется, т.е. коэффициенты горизонтальной диффузии отчетливо возрастают с удалением от берега /рис. 1/. Опыты позволяют считать, что показатель степени n в формуле

$$K(l) = c l^n, \quad /4/$$

является переменной величиной, а $n = 4/3$ /"закон 4/3"/ характеризует некоторые оптимальные условия горизонтальной диффузии. Установлено, что для определенных масштабов явления коэффициенты горизонтальной диффузии возрастают с усилением течений по линейному закону.

На основе проведенных экспериментов сделана ориентировочная оценка "скорости" горизонтальной диффузии /или "скорости" роста пятен примеси/ в духе И. Иозефа и Г.Сенднера/9/. Среднее значение скорости диффузии для Южного Крыма оказалось равным около 1 см/сек, что почти в 5-30 раз меньше, чем наблюдаемые в это время скорости течений. Это справедливо для малых масштабов явления /до 500-1000 м/.

Проведенные эксперименты позволяют считать, что рассеяние поля примеси процессами диффузии будет происходить /при прочих равных условиях/ тем интенсивнее, чем дальше от берега это поле удалено и чем больше его начальные размеры. Так как "закон 3/4" выполняется на расстояниях свыше 2,5 миль от берега, то наибольший эффект рассеяния сточных вод в районе Южного Крыма будет достигнут на расстояниях свыше 2,5 миль от берега.

Сделана попытка оценить некоторые параметры горизонтальной диффузии, исходя из соотношения /4/ и выражения для коэффициента горизонтальной диффузии K в дифференциальной форме /5/:

$$K = -\frac{1}{2} \frac{d(\overline{b^2})}{dt}, \quad /5/$$

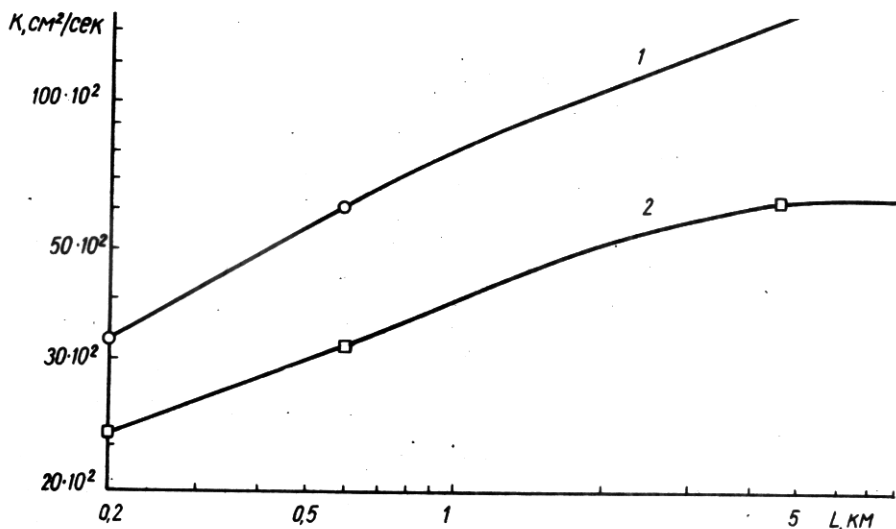


Рис. 1. Изменение коэффициентов горизонтальной диффузии K с удалением от берега L для различных масштабов явления /50-200 и 200-300 м/. Шкалы на осях логарифмические:

1 - для масштаба явления 200-300 м; 2 - для масштаба явлений 50-200 м.

где σ^2 - средняя величина квадрата отклонения частиц от среднего распределения. Решены две частные задачи:

1. Определена связь между линейными размерами мгновенного диффундирующего пятна на поверхности моря и временем диффузии в зависимости от показателя n , т.е. найдено соотношение, позволяющее определить интервал времени, необходимый, чтобы мгновенное пятно увеличило свои горизонтальные размеры в поперечнике от l_0 /в начальный момент времени/ до l /в любой заданный момент времени/. Это соотношение имеет вид:

$$t = \frac{l_0^n}{2 - n} \cdot \frac{1}{12 K_0} (l^{2-n} - l_0^{2-n}) \quad , \quad /6/$$

где t - интервал времени, необходимый, чтобы пятно примеси в процессе диффузии увеличило свои размеры от l_0 до l ;
 K_0 - коэффициент диффузии, соответствующий пятну примеси с поперечником l_0 ;
 n - показатель степени в формуле /4/.

Отчетливо видно, что время диффузии существенно зависит от показателя степени n , характеризующего интенсивность горизонтального рассеяния. На рис. 2 проведены кривые связи между t и l для четырех значений n / $n = 0; 1; 4/3; 0,4$ /, как это получилось в нашей работе/. Видно, что время раскрытия пятна будет наименьшим при использовании "закона $4/3$ ", так как в этом случае диффузия протекает более интенсивно, чем в остальных.

2. Определена степень относительного расширения потока примеси процессами диффузии /от линейного источника непрерывного действия/ в зависимости от показателя степени n . Течение установившееся. В отличие от решения Н. Брукса [6] для некоторых частных случаев, нами эта задача обобщена для переменного показателя n /когда n изменяется от 0 до 2/.

Получено такое соотношение:

$$\frac{l}{b} = \sqrt[1 + (2-n)\beta \frac{x}{b}}{\frac{1}{2-n}}, \quad /7/$$

где l - ширина потока примеси на расстоянии x от источника вдоль течения;

b - ширина линейного источника;

$$\beta = \frac{12 K_0}{Vb}.$$

Здесь K_0 - коэффициент диффузии для начальной ширины потока b ; V - скорость течения; n - показатель степени в формуле /4/.

Сравнение величин l/b , вычисленной по формуле /7/ и полученной по экспериментам с дрейфующими поплавками, показало удовлетворительное соответствие. Из соотношения /7/ видно, что при расчетах диффузии потоков примесей большое внимание должно быть уделено n , которое может быть в конкретных условиях определено по экспериментам с дрейфующими частицами или по диффузии струи красителя.

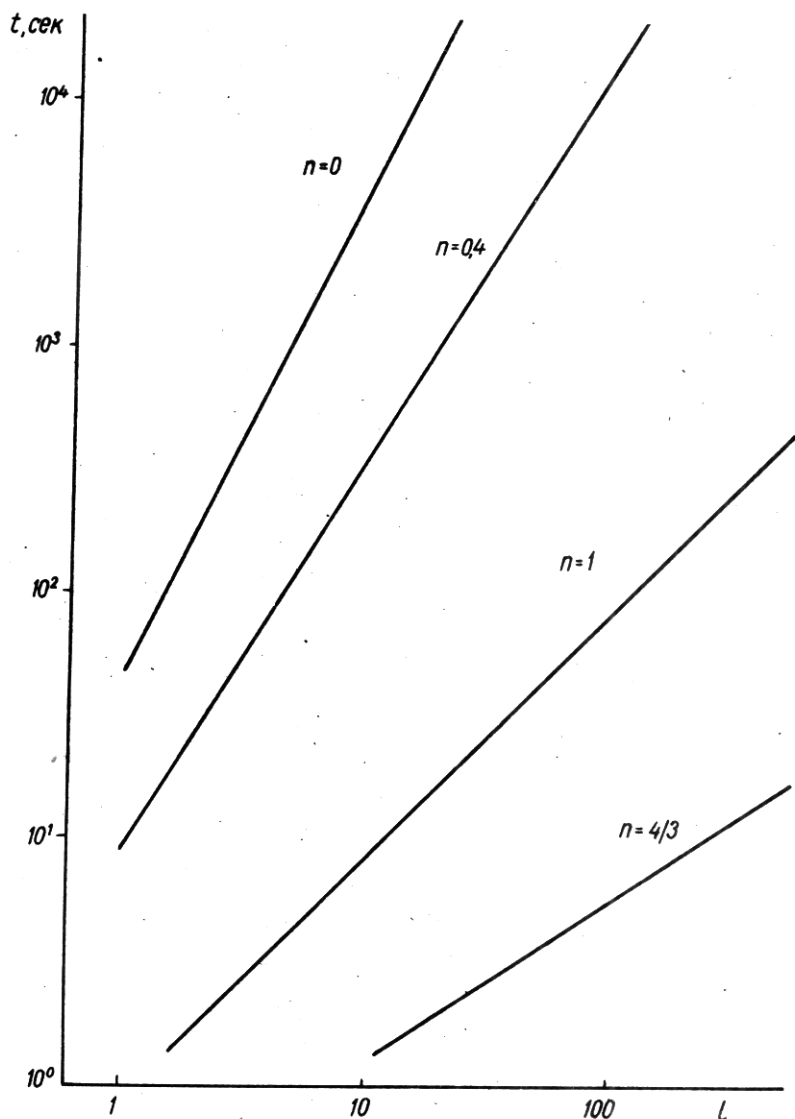


Рис. 2. График связи между горизонтальными размерами диффундирующего пятна, l и временем диффузии t для четырех значений n . Шкалы на осях логарифмические.

Л и т е р а т у р а

1. Данович А.М., Зейгер С.Г. - Тр. Лен. гидромет. ин-та, 1963, 18.
2. Зац В.И. - Океанология, 1964, 4, 2.
3. Зац В.И. - Океанология, 1965, 5, 3.
4. Зубов Н.Н., Сабинин К.Д. - Вычисления уплотнения при смешении морских вод. Гидрометеиздат, М., 1958.
5. Монин А.С. - В кн.: Атмосферная диффузия и загрязнение воздуха. ИЛ, М., 1962.
6. Brooks N.H. - Proc. 1 Intern. Conf. on Waste Disposal in the Marine Environment. Berkeley, Pergamon Press, 1960.
7. Brooks N.H. - J. Geophys. Res., 1962, 67, 9.
8. Brooks N.H., Koh R.C. - Intern. Assoc. Hydr. Res. XI Intern. Congr. Leningrad, 1965, 2, 2.19.
9. Joseph J., Sendner H. - Dtsch. Hydr. Zs., 1958, 11, 2.
10. Rown A.M., Boverman F.R., Brooks N.H. - J. of Sanitary Engin. Div. Proc. Amer. Soc. of Civ. Engin., 1960, 86, SA 2.