

**Физика**

УДК 532.529; 532.526; 534

Г. А. ЛЕВОНЯН, Б. Г. ПОКУСАЕВ, Ю. В. ТАДЕВОСЯН, В. Ф. МОРОЗОВ

**ВЛИЯНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОЛН НА  
ДЕСОРБЦИЮ CO<sub>2</sub> ИЗ СЛОЯ  
ЖИДКОСТИ**

Рассмотрено влияние поверхностных волн, возбуждаемых механическим способом, на изменение концентрации CO<sub>2</sub> при десорбции его из объема жидкости.

Экспериментально выявлено влияние параметров механических волн на десорбцию CO<sub>2</sub> из жидкости. Приведены зависимости усредненной концентрации газа от времени при разных глубинах бассейна и при различных частотах и амплитудах волнопродуктора.

Весьма важной экономической и экологической проблемой является изучение взаимодействия водной среды с атмосферой. Особенный интерес представляют исследования массообмена при десорбции (абсорбции) слаборастворимых в воде газов CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>. Так, несмотря на малые концентрации углекислого газа в атмосфере (0,3 мл/л) и океаносфере (0,7 мл/л), последний играет весьма значительную роль в планетарном обмене вещества [1].

Согласно данным, приведенным, например, в [1, 8], CO<sub>2</sub> вовлекается в биохимический обмен, приводящий к созданию органики, формированию и развитию пищевой цепи, образованию донных органических отложений. За счет «парникового эффекта» CO<sub>2</sub> может привести к значительным крупномасштабным изменениям климата. Обмен CO<sub>2</sub> в океане очень сложен, и в настоящее время не существует общепринятой теории, с помощью которой можно было бы предсказать скорость обмена в зависимости, например, от гидродинамических условий на границе раздела жидкость-атмосфера. В связи с этим важное значение имеют эксперименты в этой области. Целью настоящей работы являлось выяснение влияния параметров волн, вызванных механическим воздействием, на массоотдачу при десорбции газа CO<sub>2</sub> из слоя воды. Заметим сразу, что поскольку коэффициент диффузии газа CO<sub>2</sub> в воде очень мал (примерно в 10<sup>4</sup> раза меньше, чем в воздухе), определяющим в процессе массообмена жидкость-газ является диффузионный процесс только в жидкой среде.

Перенос вещества от границы раздела фаз в глубь какой-либо фазы рассматривают на основе уравнений гидродинамики и конвективной диффузии. Если ограничиться рассмотрением диффузии в одном направлении, то уравнение конвективной диффузии будет иметь вид

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} - \omega \frac{\partial C}{\partial y}$$

с граничным условием

$$\beta \Delta = -D \left( \frac{\partial C}{\partial z} \right)_{z=0},$$

где  $t$ —время,  $\omega$ —скорость среды,  $\Delta$ —движущая сила ( $\Delta = C_p - C$ ),  $C_p$ ,  $C$ —концентрация компоненты у границы раздела и в глубине фазы соответственно,  $D$ —коэффициент диффузии,  $\beta$ —коэффициент массоотдачи. Для решения задачи используют упрощенные модели.

1. В пленочной модели [2] предполагается, что с обеих сторон от поверхности соприкосновения фаз в каждой фазе образуются неподвижные или ламинарно движущиеся слои (пленки), отделяющие поверхность соприкосновения от ядра потока соответствующей фазы. Процесс предполагается стационарным

$$\frac{\partial C}{\partial t} = 0,$$

а членом  $\omega \frac{\partial C}{\partial y}$  в уравнении пренебрегают, и уравнение принимает вид

$$D \frac{d^2 C}{dz^2} = 0.$$

После интегрирования при соответствующем граничном условии и толщине «пленки»  $z_0$  для коэффициента массоотдачи получается (с учетом перечисленных выше допущений)

$$\beta = \frac{D}{z_0}.$$

Существуют также модели пограничного диффузионного слоя и обновления поверхности.

Все эти модели не учитывают влияния волн на газообмен, хотя в ряде работ, в частности в [3], рассматриваются причины влияния волн на газообмен. Так, по расчетам Владимирова [4], общее приращение газообмена за счет волнения составляет 18,6%, а в случае капиллярных волн увеличение может достигать порядка 50% [3].

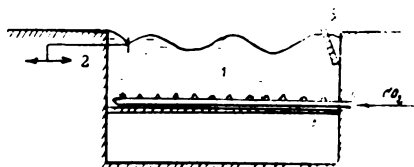


Рис. 1. Схема установки.

Вместе с тем ряд лабораторных и натурных экспериментов обнаруживают более значительный вклад волн в увеличение массообмена. Роль других причин, в том числе и перечисленных выше, влияния волн на межфазный массообмен также не очевидна и требует самого детального теоретического и, в первую очередь, экспериментального исследования.

В последнее время существенный прогресс в проблеме выяснения механизма интенсификации массоотдачи в волновом пленочном течении был достигнут в работах [5, 6]. Ниже излагаются результаты экспериментального исследования влияния волн, возбуждаемых механическим способом, на изменение концентрации  $\text{CO}_2$  при десорбции его из объема жидкости. Все результаты представлены в размерном виде с целью их более доступного использования в теоретических расчетах и с тем, чтобы эффект волн и других условий эксперимента был виден более наглядно.

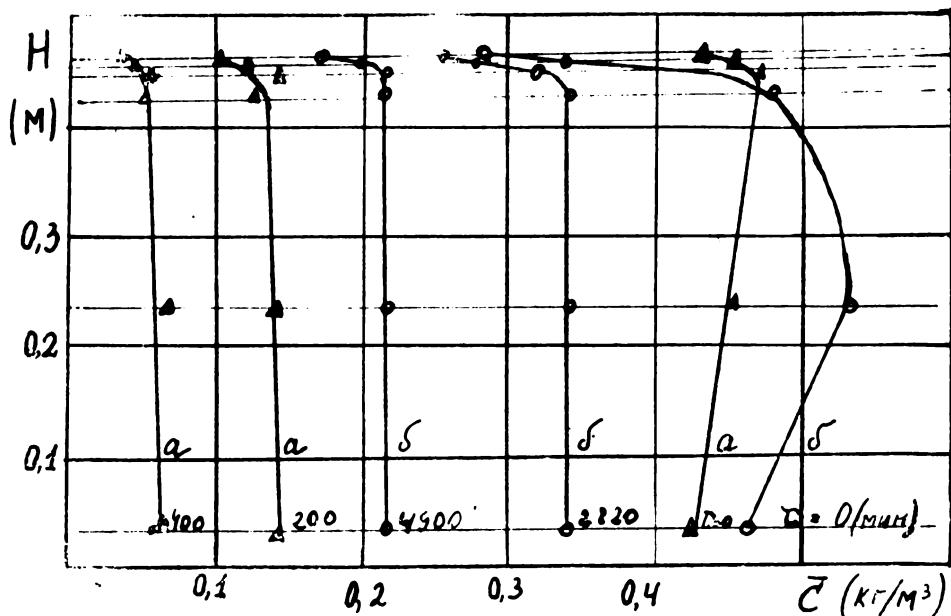


Рис. 2. Изменение концентрации  $\text{CO}_2$  по глубине жидкости:  
 а—гладкая поверхность, б—волнистая поверхность.  
 Глубина бассейна  $H=0,47$  м.

Для эксперимента использована установка, представленная на рис. 1. Бак с дистиллированной водой, изготовленный из оргстекла, имеет следующие геометрические размеры:  $1 \times 0,3 \times 0,5$  м. Подвижная перегородка 3 в баке позволяет менять его глубину. Насыщение воды газом  $\text{CO}_2$  проводилось под давлением  $1,2 \cdot 10^5$  Па до концентрации  $0,5 \text{ кг/м}^3$  при температуре  $20^\circ\text{C}$ , барботажем газа через трубку с отводами. Пластина 2 размерами  $0,28 \times 0,035$  м, соединенная с эксцентрическим шкивом редуктора электродвигателя, совершая периодические продольные колебания в горизонтальной плоскости, создает на поверхности воды волны. На противоположной стенке бака располагается дырчатой лист-гаситель волн 5.

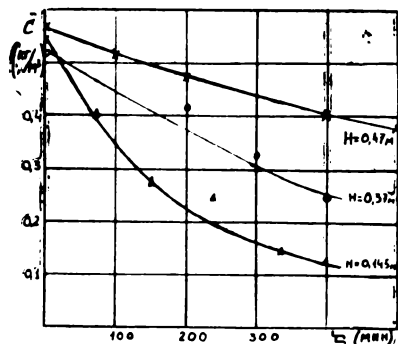


Рис. 3. Изменение усредненной по глубине концентрации  $\text{CO}_2$  во времени при различных глубинах бассейна:  
 $A=6,5 \cdot 10^{-3}$  м,  $\nu=2,34$  Гц;

различные моменты опыта, при условиях: а) поверхность невозмущенная; б) волны на поверхности. Как видно из этих измерений, вблизи поверхности заметно существенное снижение концентраций, причем при гладкой поверхности градиент концентрации больше, чем при волнистой. Визуальные наблюдения показали, что, наряду с поверх-

В ходе эксперимента измерялись следующие параметры, амплитуда, частота и длина волны, концентрация  $\text{CO}_2$  в воде по глубине (в шести точках) и во времени (методом титрования раствором  $\text{NaOH}$ ). Измерения проводились при трех частотах волн для трех значений амплитуд для каждого из трех выбранных значений глубины воды ( $0,145$ ;  $0,37$ ;  $0,47$  м). Результаты измерения концентрации  $\text{CO}_2$ , усредненные по глубине, в различные моменты времени показали, что волны на поверхности воды сильно влияют на массоотдачу. На рис. 2 показаны результаты измерений концентрации  $\text{CO}_2$  по глубине водоема, выполненные в

ностным течением, в объеме возникает крупномасштабное конвективное течение. Заметим, что такой эффект наблюдали и авторы работы [7]. Коэффициент массоотдачи зависит от глубины бассейна, частоты и амплитуды волн. Действительно, как видно из рис. 3, уменьшение глубины при прочих равных условиях приводит к двух- и трехкратному снижению концентрации  $\text{CO}_2$ . Заметим при этом, что для бассейна глубиной 0,14 м мы имеем случай волны на «мелкой воде». Рис. 4 и 5 иллюстрируют изменение средней концентрации  $\text{CO}_2$  во времени в слое воды 0,14 м при разных частотах и амплитудах волн соответственно.

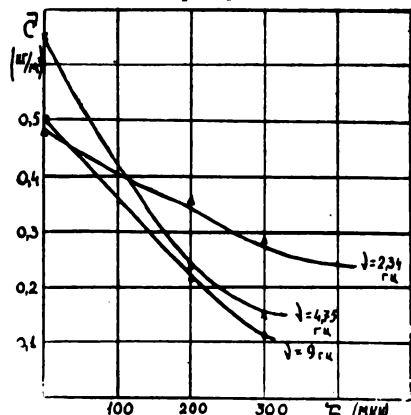


Рис. 4. Изменение усредненной по глубине концентрации  $\text{CO}_2$  во времени при различных частотах волн:

$$H=0,145 \text{ м}, A=3 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

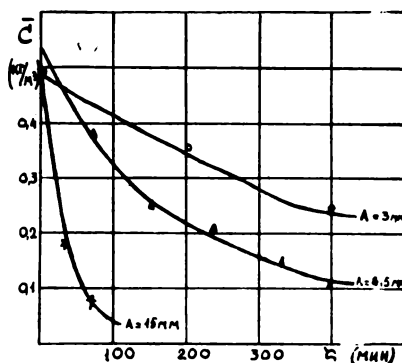


Рис. 5. Изменение усредненной по глубине концентрации  $\text{CO}_2$  во времени при различных амплитудах волн:

$$H=0,145 \text{ м}, \nu=2,34 \text{ Гц}.$$

Из этих данных следует, что как с увеличением частоты при постоянной амплитуде, так и с увеличением амплитуды при постоянной частоте массоотдача становится интенсивнее. При этом заметно, что зависимость изменения концентрации  $\text{CO}_2$  от амплитуды более существенна. Таким образом, результаты настоящего эксперимента показывают, что волны, возбужденные механическим способом, существенно влияют на десорбцию газа  $\text{CO}_2$  из воды.

Армпединститут.  
ЕГУ

Поступила 11.06.1984

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Степанов В. Н. Океаносфера. М.: Мысль, с. 88—110.
2. Рам В. М. Абсорбция газов. М.: Химия, 1976.
3. Hasse L., Liss P. S. Gas exchange across the air-sea interface—Tellus. 1980, v. 32, p. 470—481.
4. Владимиров О. А. Расчет увеличения площади моря при волнении.— Океанология, 1961, т. 1, вып. 4, с. 630—638.
5. Накоряков В. Е., Покусев Б. Г., Алексеенко С. В. Влияние волн на десорбцию  $\text{CO}_2$  из стекающих пленок жидкости.—Теоретические основы химической технологии, 1983, т. XVII, № 3, с. 307—312.
6. Гешев П. И., Лапин А. М. Диффузия слабо растворимого газа в стекающих волновых пленках жидкости.— Прикладная механика и техническая физика, 1983, № 6, с. 106.
7. Goossens H. T., Pagee I. A., Tessel P. S. Vertical turbulent diffusion in air-driven water flows-I. Hydraul. Div. ASSE, 1982, v 108, № H49, p. 995—1009.
8. Взаимодействие океана с окружающей средой (под ред. проф. А. И. Дуваннина). МГУ, 1983, с. 88—100.

Հ. Ա. ԼԵՎՈՆՅԱՆ, ՅՈՒ. Վ. ՔԱԳԵՎՈՍՅԱՆ, Բ. Գ. ՊՈԿՈՒՍԱՆՎ, Վ. Ֆ. ՄՈՐՈԶՈՎ

**ՄԱԿԵՐԵՎՈՒԹԱՅԻՆ ԱԼԻՔՆԵՐԻ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ ԶՐԻ ՇԵՐՏԻՑ  
CO<sub>2</sub> ԳԱԶԻ ԴԵՍՈՐԲՑԻԱՅԻ ՎՐԱ**

**Ա մ փ ո փ ու մ**

*Ուսումնասիրվել է մեխանիկական եղանակով առաջացրած մակերևութային ալիքների ազդեցությունը CO<sub>2</sub> գազի կոնցենտրացիայի փոփոխության վրա, ջրից նրա դեսորբցիայի ժամանակ:*

*Փորձնականորեն պարզված է մեխանիկական ալիքների պարամետրերի ազդեցությունը CO<sub>2</sub> գազի դեսորբցիայի վրա: Բերված է CO<sub>2</sub>-ի միջինացված կոնցենտրացիայի ժամանակից ունեցած կախվածության գրաֆիկը հեղուկի տարբեր խորությունների և մակերևույթում տարբեր հաճախականությունների և ամպլիտուդների ալիքների դեպքում:*