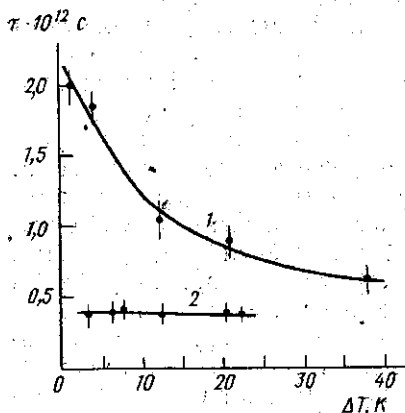


сравнима с интенсивностью спектра в максимуме ($\sim 0,1 I_m$), причем интенсивность крыльев уменьшается очень медленно к середине между интерференционными пиками. Это может быть следствием того, что вклад быстрых реориентационных движений в деполяризованное рассеяние в ГСОБК выше, чем в МББА. С ростом температуры в обоих веществах интенсивность центрального максимума уменьшалась, а интенсивность крыльев росла. На рис. 2 приводятся времена релаксации



анизотропии, рассчитанные по спектрам в изотропной фазе МББА и ГСОБК при различных температурах. Величины τ для МББА примерно в два раза выше, чем для ГСОБК. С ростом температуры τ уменьшается. Полученные значения τ для изотропной фазы МББА оказываются существенно меньше времени релаксации $\tau = (1 \div 2) \cdot 10^{-10}$ с, определенного по дисперсии скорости звука [8].

Сопоставление времен релаксации анизотропии, полученных в нашей работе, с характерными временами различных реориентационных молекулярных

Рис. 2. Зависимость времени релаксации анизотропии τ от ΔT в МББА (1) и ГСОБК (2)

движений [4, 5] позволяет высказать предположение, что ближняя часть крыла рэлеевской линии в изотропной фазе изученных жидкокристаллических веществ определяется быстрыми движениями отдельных молекул или фрагментов молекул, например колебаниями бензольного кольца. Такое заключение подтверждается еще и тем, что для молекулы ГСОБК, имеющей только одно бензольное кольцо, соответствующее время τ в два раза меньше, чем в МББА.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Janik J. A. In: Second Liquid Crystal Conference of Socialist Countries. Sunny Beach, Bulgaria, sept. 27—30, 1977, p. 16. [2] Kiróv N., Simova P. Phys. Lett., 1971, 37A, N 1, p. 51. [3] Де Жен П. Физика жидких кристаллов. М.: Мир, 1977. [4] Janik J. A. et al. Mol. Cryst. Liq. Cryst., 1983, 98, p. 67. [5] Witko W. Mol. Cryst. Liq. Cryst., 1983, 99, p. 161. [6] Leontovitch M. J. Phys. USSR, 1941, N 4, p. 499. [7] Аблеков В. К. Опт. и спектр., 1959, 6, с. 562. [8] Алейников А. Б., Петрова Г. П. Опт. и спектр., 1977, 43, с. 267.

Поступила в редакцию
30.05.84

ГЕОФИЗИКА

УДК 551.463:551.466

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПЛЕНОК ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ НА ПОВЕРХНОСТНЫЕ ВОЛНЫ

А. А. Белых, Л. М. Ворониц, А. А. Лазарев, К. В. Показеев

(кафедра физики моря и вод суши)

Пленки поверхностно-активных веществ (ПАВ) встречаются на поверхности Мирового океана повсеместно. Появление их обусловлено как природными биологическими процессами, так и деятельностью че-

ловека. В последнее время наблюдается возрастание антропогенного загрязнения океана.

Пленки ПАВ оказывают сильное гасящее действие на коротковолновую часть спектра поверхностных волн, которая определяет отражательные свойства морской поверхности в СВЧ-диапазоне электромагнитных волн, используемом для дистанционных методов исследования океана. Изменяя тепловое излучение морской поверхности и уменьшая рябь (что изменяет коэффициент сопротивления поверхности), пленки ПАВ влияют на энергообмен между атмосферой и океаном. Важную роль пленки ПАВ играют и как индикаторы внутренних волн, циркуляционных ячеек Ленгмюра, зон конвергенции, течений и т. д.

Исследования воздействия пленок ПАВ на поверхностные волны проводятся давно [1]. Однако влияние ПАВ именно на гравитационно-капиллярные волны, важное для дистанционных методов исследования океана, изучено недостаточно [2].

В настоящей работе в лабораторном лотке изучается затухание регулярных гравитационно-капиллярных волн под действием ПАВ и особенности спектров ветровых волн при наличии тех же ПАВ на поверхности воды. Такая постановка эксперимента позволяет отделить эффект диссипации волн под действием ПАВ от эффекта их уменьшения из-за снижения при этом влияния ветра.

Аппаратура и методика эксперимента. При выборе ПАВ для экспериментов мы руководствовались следующими соображениями. Во-первых, используемые в экспериментах ПАВ должны быть в той или иной степени подобны ПАВ, встречающимся в океане. Во-вторых, желательно применение ПАВ, физико-химические свойства которых хорошо изучены. В работе [3] показано, что свойства реальных морских пленок подобны пленкам химически чистых веществ. ПАВ образуют на поверхности мономолекулярную пленку. Методика ее создания для нерастворимых ПАВ подробно описана в работе [4]. Свойства растворимых ПАВ зависят от их объемной концентрации. Коэффициент поверхностного натяжения σ в эксперименте измерялся с помощью капилляра. Другой важнейший параметр ПАВ — модуль упругости E — рассчитывался по изотермам (кривым, определяющим зависимость коэффициента поверхностного натяжения от концентрации [5]). Мы применили три нерастворимых ПАВ: олеиновую кислоту ($\sigma = 37$ дин/см, $E = 30-35$ дин/см), пальмитиновую кислоту (44, 20—25) и додециловый спирт (52, 10) и два растворимых: лаурат калия (51, 10) и синтетическое моющее средство «Лоск» (36, 15). Для создания непрерывной пленки при лабораторных экспериментах с ветровыми волнами в начале лотка помещались капельницы, а в конце лотка — ловушка, собиравшая излишки ПАВ. Для каждого ветрового режима эмпирически подбирался соответствующий режим работы используемых капельниц.

Измерения проводились в стеклянном лотке длиной 7 м, шириной 0,49 м. Глубина воды была 0,2 м, при этом выполнялось условие глубокой воды для всего исследуемого диапазона волн. Волнопродуктор создавал волны с частотами 2,0—16,0 Гц. Измерение регулярных волн проводилось пятью электродными волнографами. Для измерения ветровых волн использовалось 2 волнографа, установленных на расстояниях 3,0 и 5,5 м от волнопродуктора.

Перед и после каждой серии экспериментов проводились тарировка волнографов и измерение коэффициентов поверхностного натяжения. Сигналы с волнографов подавались на самописец и спектранализатор. Средняя скорость ветра измерялась вертушкой на высоте 10 см

от невозмущенного уровня воды. Эксперименты проводились при 5 средних скоростях ветра: 2,6; 4,5; 6,8; 8,0 и 10,0 м/с.

Затухание регулярных волн под действием ПАВ. Амплитуда волны a по разгону x изменяется экспоненциально: $a(x_2) = a(x_1) \exp[-\beta(x_2 - x_1)]$, где x_2, x_1 — разгоны, $a(x_2), a(x_1)$ — соответствующие им амплитуды (термин «разгон» обозначает в океанологии расстояние, на котором рассматривается изменение поверхностных волн под действием ветра, диссипации и т. д.). Измерения амплитуды волн вдоль по лотку позволили определить пространственный коэффициент затухания волн β . Методика подобных экспериментов описана в работе [6]. Измерения проводились сначала на чистой воде, а затем с пленкой ПАВ на поверхности воды. Изменение частоты волн позволило найти частотную зависимость отношения коэффициента затухания волн под действием пленки β_d к коэффициенту затухания на чистой воде β_c . На рис. 1 представлены графики зависимости $\gamma = \beta_d$ и β_c от частоты, нормированные на теоретическое значение коэффициента затухания на чистой воде β_{ct} . Такой способ нормировки позволяет ослабить частотную зависимость волнографа (см. рис. 1, а). Для всех ПАВ четко прослеживается максимум в зависимости β_d/β_{ct} от частоты f , который зависит от вида ПАВ. Сравнительно низкая разрешающая способность спектроанализатора приводила к сглаживанию зависимости β_d/β_{ct} от частоты. На существование максимума в этой зависимости

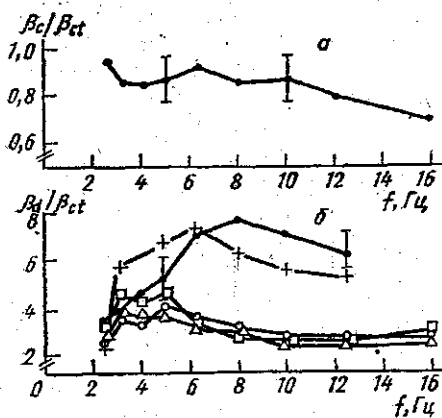


Рис. 1. Зависимость коэффициента затухания поверхностных волн от частоты: а — β_c/β_{ct} на чистой воде; б — β_d/β_{ct} для ПАВ: «Лоск» (●), олеиновая кислота (+), пальмитиновая кислота (□), лаурат калия (○), додециловый спирт (△)

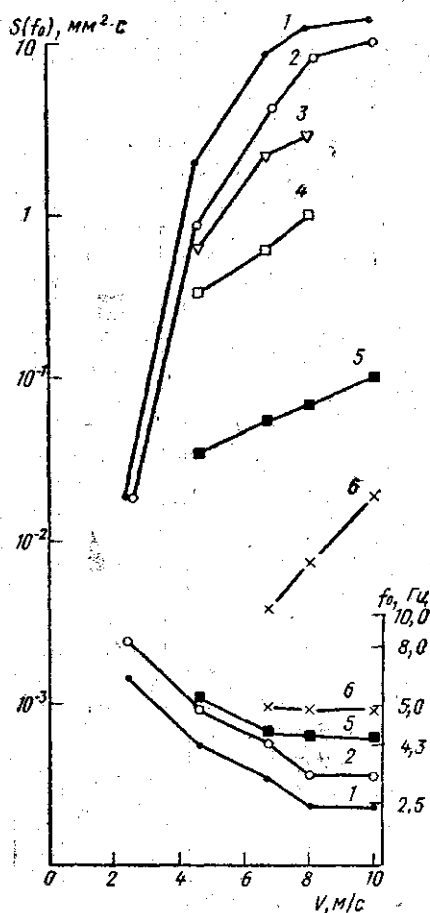


Рис. 2. Зависимость величины максимума спектра $S(f_0)$ и f_0 от скорости ветра V : 1, 2 — чистая вода, 3, 4 — лаурат калия, 5 — пальмитиновая кислота, 6 — «Лоск». Разгон равен: 3 (2,4) и 5,5 (1,3, 5,6) м

сти впервые было указано в теоретической работе [7], в которой такой тип зависимости назван резонансным. Экспериментальная проверка

ее проводилась только для одного ПАВ в специфических условиях [8]. В работе [9] существование этой зависимости предполагалось положить в основу дистанционного метода определения типа ПАВ.

Воздействие ПАВ на ветровые волны. В экспериментах с ветром получены спектры поверхностных волн для двух разгонов и 5 ветровых режимов на чистой воде и воде, покрытой пленками ПАВ, использовавшимися в экспериментах с регулярными волнами. Для растворимых ПАВ эксперименты проведены также при их различной концентрации.

Наличие пленки ПАВ на поверхности существенно затрудняет волнообразование. Так, для всех исследованных пленок ПАВ при скорости ветра $V=2,6$ м/с волны не образуются. В случае пленок олеиновой кислоты, больших концентраций «Лоска» и олеата натрия волны возникают лишь при $V=6,8$ м/с, а для пленок остальных исследованных ПАВ — при $V=4,5$ м/с. Эти результаты согласуются с данными о том, что критическая скорость ветра, при которой происходит волно-

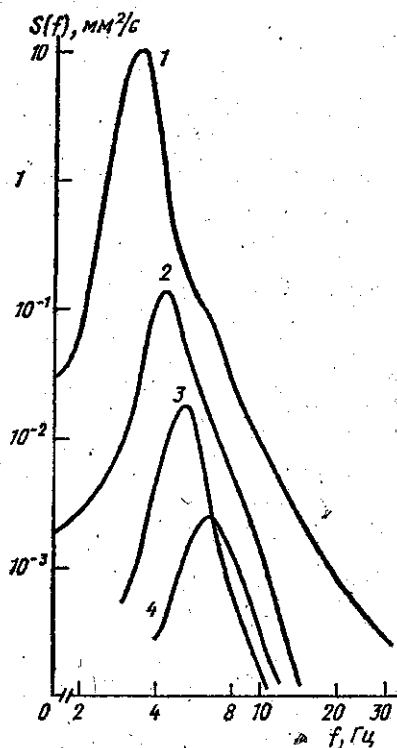


Рис. 3. Спектры ветровых волн на чистой воде (1) и при ПАВ: 2 — пальмитиновая кислота, 3 — олеиновая кислота, 4 — «Лоск». Разгон равен 5,5 м, скорость ветра 6,8 м/с

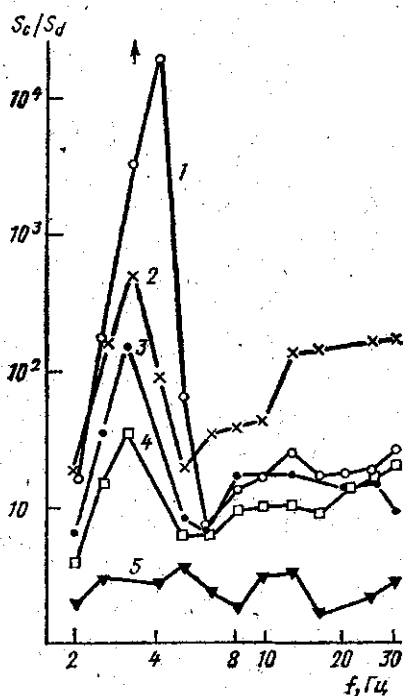


Рис. 4. Относительные спектры S_c/S_d при ПАВ: 1 — «Лоск», 2 — олеиновая кислота, 3 — пальмитиновая кислота, 4 — додециловый спирт, 5 — лаурат калия. Скорость ветра 8 м/с, разгон 3,0 м. Стрелка обозначает f_0 на чистой воде

образование, зависит от наличия пленок ПАВ на поверхности [10]. На рис. 2 представлены графики зависимости величин максимумов спектров $S(f_0)$ и частот максимумов f_0 от скорости ветра для чистой воды и с ПАВ на ее поверхности, которые свидетельствуют о том, что при наличии пленки ПАВ ветровое волнение менее развито, чем на поверхности чистой воды при тех же значениях скорости ветра и разго-

на. На рис. 3 представлены спектры ветровых волн на чистой воде и воде, покрытой пленками ПАВ, для одинаковых ветровых режимов и разгонов. Величина $S(f)$ сильно зависит от вида ПАВ.

По спектрам ветрового волнения, измеренным на двух разгонах, были оценены скорости роста спектральных компонент волнения. Уравнение баланса волновой энергии для стационарных условий, имевших место в эксперименте, в пренебрежении нелинейным обменом энергии между спектральными компонентами можно записать в форме [10]

$$c_g \frac{\partial S}{\partial x} = I - D,$$

где c_g — групповая скорость волн, I определяет поступление энергии от ветра, D — диссипацию волновой энергии. На начальной стадии развитие волн обычно носит экспоненциальный характер, при этом $I = \alpha' S$, где α' — параметр, определяющий скорость роста волн. D на чистой воде имеет вид $D = \beta' S$. С использованием определений I и D из уравнения баланса волновой энергии следует широко используемое при анализе экспериментальных данных соотношение для параметра α' :

$$\alpha' = \frac{c_g}{S} \frac{\partial S}{\partial x} + \beta',$$

разделив которое на групповую скорость, получим выражение

$$\alpha_c = \frac{1}{S} \frac{\partial S}{\partial x} + \beta_c.$$

Последнее соотношение более удобно при анализе волн, развивающихся по пространству. Аналогичное соотношение имеет место для развития спектральных компонент на воде, покрытой пленкой ПАВ:

$$\alpha_d = \frac{1}{S_d} \frac{\partial S_d}{\partial x} + \beta_d.$$

Для частот вблизи максимума спектра член $\frac{1}{S} \frac{\partial S}{\partial x}$ можно оценить по следующей формуле:

$$\frac{1}{S} \frac{\partial S}{\partial x} \approx \frac{2[S(x_2) - S(x_1)]}{[S(x_2) + S(x_1)](x_2 - x_1)}$$

Величины $\frac{1}{S_d} \frac{\partial S_d}{\partial x}$ при тех же ветровых режимах оказываются в 5—

10 раз меньше, чем соответствующие значения на чистой воде. Значения β_d/β_c получены в экспериментах с регулярными волнами. На частотах вблизи максимума спектра (для которых вычислялись величины $\frac{1}{S} \frac{\partial S}{\partial x}$) для всех ПАВ β_d в 2—5 раз больше β_c . На чистой воде для частот 2,0—2,5 Гц и $V = 8—10$ м/с α_c изменяется от 0,008 до 0,010 см⁻¹. ПАВ изменяет величину скорости роста волн для тех же значений V . Для пальмитиновой кислоты $\alpha_d = 0,009—0,010$ см⁻¹, для олеиновой 0,003—0,005 см⁻¹, для додецилового спирта и «Лоска» $\alpha_d \approx 0,001$ см⁻¹.

Значение параметров α_d , характеризующих поступление энергии от ветра к данной спектральной компоненте, как правило, меньше или равно α_c . Таким образом, наличие пленки ПАВ на поверхности приводит к тому, что уменьшается поступление энергии от ветра к волнам на данной частоте. Если величина α не изменяется, то тем не менее происходит перераспределение потока энергии, поступающего от ветра — при наличии ПАВ большая часть энергии затрачивается на компенсацию пленочной диссипации.

Относительные спектры S_c/S_d (рис. 4) позволяют судить об изменении спектральных составляющих под действием ПАВ во всем исследуемом диапазоне. Наибольшее ослабление спектра происходит на частотах, соответствующих максимуму спектра волн на чистой воде.

Результаты экспериментов указывают на то, что спектральная компонента ветрового волнения при наличии пленки ПАВ ослабляется не только за счет механизма пленочной диссипации, но и за счет уменьшения поступления ветровой энергии. Влияние вида ПАВ на затухание хорошо видно на относительных спектрах. Влияние резонансного эффекта затухания на кривых S_c/S_d не обнаруживается. Это может быть связано с тем, что в наших экспериментах частоты максимумов спектра и частоты, соответствующие максимумам отношений β_d/β_c , близки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Шулейкин В. В. Физика моря. М.: Наука, 1968, с. 1082. [2] Hühnerfuss H., Garrett W. D. J. Geoph. Res., 1981, 86, p. 439. [3] Ермаков С. А., Пелиновский Е. Н., Талинова Т. Г. В кн.: Воздействие крупномасштабных внутренних волн на морскую поверхность. Горький, 1982, с. 31. [4] Доброклонский С. В., Тюменева В. А. Изв. АН СССР, сер. геофиз., 1950, № 5, с. 425. [5] Поверхностно-активные вещества. Справочник. Л.: Химия, 1979. [6] Показеев К. В., Розенберг А. Д. Океанология, 1983, 29, с. 575. [7] Cini R., Lombardini P. P. J. of Colloid and Interface Science, 1978, 65, N 2, p. 387. [8] Cini R., Lombardini P. P. Ibid., 1981, 81, N 1, p. 125. [9] Cini R., Lombardini P. P., Hühnerfuss H. Int. J. Remote Sens., 1983, 4, N 1, p. 101. [10] Филлипс О. М. Динамика верхнего слоя океана. Л.: Гидрометеиздат, 1980, с. 319.

Поступила в редакцию
07.05.84

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3. ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ, 1985, Т. 26, № 4

УДК 532.517.4

РЕЗУЛЬТАТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЯ СТЕПЕННОЙ ФУНКЦИИ, АППРОКСИМИРУЮЩЕЙ СПЕКТР ФЛУКТУАЦИЙ АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ

Н. Ф. Горшков

(кафедра физики атмосферы)

Для приземного слоя экспериментально показано [1], что временной спектр флуктуаций атмосферного давления в точке может быть представлен степенной зависимостью спектральной плотности $\mathcal{F}_{pp}(f)$ от частоты f :

$$\mathcal{F}_{pp}(f) = af^n, \quad a = \text{const}, \quad n < 0. \quad (1)$$

Экспериментальная зависимость (1) в билогарифмическом масштабе имеет два характерных излома на частотах f_1 и f_0 (согласно [1], $f_1 \approx 0,05$ Гц, $f_0 \approx 2,6$ Гц при высоте травяного покрова $\sim 0,2$ м), причем масштаб областей возмущений давления на частоте f_0 сравним с высотой растительного покрова. Изменение характера спектра на частоте f_1 , по-видимому, связано с изменением свойств движения воздуха на высотах 4—10 м. Временной спектр давления в диапазоне частот измерений $\Delta f = 0,005 \div 20$ Гц, таким образом, разделяется на три участка с различными значениями показателя n , зависящими от стратификации приземного слоя воздуха, причем $n_1 \approx -2,5$ ($0,005$ Гц $< f < 0,05$ Гц), $n_2 \approx -1,4$ ($0,05$ Гц $< f < 2,6$ Гц), $n_3 \approx -4,1$ ($f > 2,6$ Гц). Значения n определены путем осреднения по времени (3—5 спектров).

В настоящей работе проводится дальнейшее изучение экспериментальных спектров флуктуаций атмосферного давления в приземном слое путем исследования зависимости показателя n_2 от стратификации с целью установления главных источников флуктуаций давления.