

На рис. 3 представлена зависимость частоты расстройки  $t_s = |f_0 - f|$  от  $p_0$  (уровня гармонического звукового поля  $p_0$ ) для постоянного значения  $p_f = 100$  дн/см<sup>2</sup>. Как следует из рис. 3, при достаточно умеренных уровнях звукового поля  $p_0 \leq 1000$  дн/см<sup>2</sup>  $f_s \sim p_0$ , при больших уровнях звукового поля намечается тенденция к более сильной зависимости  $f_s$  от  $p_0$ . На рис. 3 приведены также результаты измерений  $p_f$  в зависимости от  $p_0$  для постоянного значения расстройки  $f_s = 100$  Гц. Из рис. 3 видно, что  $p_f$  так же быстро возрастает с увеличением  $p_0$  при  $p_0 \geq 1000$  дн/см<sup>2</sup>. Эффект изменения спектрального уровня кавитационного шума в присутствии гармонического звукового поля можно объяснить исходя из следующих представлений.

В кавитирующей затопленной струе имеется множество пузырьков различного размера. Спектральные и интегральные характеристики кавитационного шума определяются излучением звука этими пузырьками, совершающими объемные пульсации. С включением внешнего гармонического звукового поля пузырьки помимо колебаний, вызванных гидродинамическими силами, начинают совершать вынужденные пульсации на частоте  $f_0$ . Однако в силу сноса пузырьков потоком жидкости мимо излучателя возбуждение пузырьков является процессом нестационарным, что приводит к возбуждению затухающих пульсаций на собственной частоте. Спектр таких пульсаций описывается выражением [2]

$$|p_f|^2 = |p_m|^2 \frac{f^2 + \eta^2 f_0^2 / 4}{[(1 + \eta^2 / 4) f_0^2 - f^2]^2 + \eta^2 f_0^2 f^2},$$

где  $\eta$  — коэффициент затухания,  $p_m$  — максимальная амплитуда пульсаций. Величина  $p_m$  определяется резонансной характеристикой пульсаций пузыря.

Из выражения видно, что с включением гармонического поля спектральная плотность кавитационного шума будет увеличиваться на собственных частотах пузырьков. В силу указанного замечания относительно величины  $p_m$ , это увеличение будет тем выше, чем ближе собственная частота колебаний пузырьков соответствует частоте вынуждающего поля.

Таким образом, в данной интерпретации эффект увеличения спектральной плотности кавитационного шума можно наблюдать в присутствии внешнего гармонического поля частоты  $f_0$ , если эта частота совпадает с собственной частотой имеющихся в потоке пузырьков.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Есипов И. Б., Наугольных К. А. «Акустический журнал», (в печати).
2. Strassberg M. JASA, 28, No. 1, 1956.

Поступила в редакцию  
17.11 1975 г.

Кафедра  
акустики

УДК 551.465

Н. К. ШЕЛКОВНИКОВ

## О ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТРУКТУРЕ ТЕРМОКЛИНА В ПРИБРЕЖНОЙ ЧАСТИ МОРЯ

Наличие температурной стратификации оказывает существенное влияние на многие физические, химические и биологические процессы, происходящие в деятельном слое моря. Поэтому очень важно знать толщину верхнего изотермического слоя, нижняя граница которого совпадает с верхней границей «слоя скачка» или термоклина. Исследованию нижней границы изотермического слоя или положению термоклина посвящено большое число работ (см., например, [1]).

Насколько можно судить, в большей степени исследована вертикальная структура термоклина в фиксированной точке моря [2, 3]. В результате этих исследований уже установлены некоторые закономерности в его суточном и сезонном ходе.

Однако для более полного понимания закономерностей зарождения и развития термоклина необходимо знать не только его временную изменчивость в фиксированной точке, но и пространственную. Некоторые данные о пространственной изменчивости положения термоклина приведены в [4]. Здесь по данным одного из океанологических разрезов американской экспедиции NORPAC рассчитано широтное изменение толщины однородного слоя скачка. Согласно [4] широтное изменение толщины верхнего изотермического слоя и глубина ядра слоя скачка часто соответствуют друг другу. При изменении широты с  $\sim 24$  до  $\sim 45^\circ$  толщина однородного слоя уменьши-

лась с  $\sim 70$  до 15 м, а положение максимума градиента температуры изменилось в сторону меньших глубин с  $\sim 60$  до 20.

В данной работе приводятся предварительные данные по инструментальному исследованию пространственной структуры термоклина в прибрежной части Черного моря. Под прибрежной частью понимается акватория, простирающаяся от берега до глубины 80—100 м.

Измерения пространственной структуры термоклина проводились с борта НИС «Московский университет» 20—29 августа 1974 г. в разное время суток. Для регистрации вертикальных профилей температуры и ее градиента использовался термозонд. На несущей трубе зонда крепились датчики среднего значения температуры и градиента  $\bar{T}$ . При измерениях градиента температуры датчики разносились по вертикали на 30—40 см. В верхней части термозонда крепился пенопласт, в его нижней части подвешивался груз. Длина троса, на котором висел груз, составляла 0,5 м. При этом считалось, что этого расстояния достаточно для гашения скорости движения термозонда в момент его удара о грунт. При отсутствии груза термозонд имел положительную плавучесть. Таким образом, величиной груза определялась скорость зондирования. При касании грузом дна термозонд замедлял свое движение, что смягчало его удар о грунт.

Для непрерывной записи вертикального профиля температуры и его градиента использовались два измерительных моста постоянного тока. В первом случае датчик включался в одно из плеч моста, в другом случае два датчика, характеристики которых подбирались близкими друг другу, включались в смежные плечи моста. С измерительной диагонали каждого моста снималось напряжение, пропорциональное температуре и ее разности в двух точках. Регистрация непрерывных записей вертикальных профилей температуры и градиента  $T$  осуществлялась с помощью самописца типа КПС-4. Абсолютные значения средней температуры и градиента  $T$  определялись с помощью тарифовочных графиков.

В описываемом термозонде в качестве датчиков среднего значения температуры и градиента  $T$  использовались термисторы МТ-54. Весь измерительный канал от датчика до регистратора позволял регистрировать вертикальную структуру термоклина при скорости зондирования до 60 см/с. Достоинство термозонда состоит в том, что можно производить вертикальное зондирование методом свободного падения. Этот метод позволяет вести зондирование практически с постоянной скоростью после установления равномерного движения. По данным наших наблюдений и работ [2—4] однородный поверхностный слой в море, как правило, превышает 5 м. Этого расстояния практически достаточно для установления постоянной скорости движения термозонда перед входом его в термоклин.

Метод свободного падения позволяет проводить измерения практически в любую погоду, так как влияние качки корабля на показания прибора в этом случае исключается.

При исследовании пространственной структуры термоклина за начало отсчета было принято не расстояние от берега, а глубина. Измерения проводились через каждые 5 м до глубин, где положение термоклина практически не изменялось. Первые измерения были сделаны до 100-метровой глубины. И после того, как было установлено, что на глубинах от 60 до 100 м положение термоклина не изменяется, измерения были ограничены  $\sim 70$  м. Во время зондирования во всех точках определялась температура поверхности воды и воздуха.

Из 10 разрезов, сделанных как в сторону возрастания глубин, так и в сторону берега, в 8 наблюдалось ярко выраженное «всплывание» термоклина. Максимальный подъем термоклина наблюдался на глубине 25—65 м. Высота подъема термоклина лежала за пределами ошибок измерения, которая в основном определялась точностью отсчета глубин. Глубина на каждой станции определялась по эхолоту. Характерные пространственные профили глубины термоклина в прибрежной полосе юго-западной части Черного моря приведены на рис. 1. Как видно из рис. 1, а, термоклин включает в себя три максимума градиента  $T$ . На глубине от 45 до 75 м расстояние между этими максимумами не превышало 7 м. Профили максимумов градиента были получены в дневное время с 13 ч. 45 мин. до 17 ч. Измерения в этом случае производились при движении корабля от берега. Погода была солнечной, ветер слабый, волнение не превышало 1—2 балла.

Из рис. 1, а видно, что положение верхней границы термоклина (кривая  $\Gamma$ ) начиная с 45 и до 75 м изменялось незначительно и не превышало 2 м. Однако начиная с глубины 45 м (при движении корабля к берегу) и до 36 м наблюдался резкий подъем термоклина. Если ввести условную скорость изменения глубины залегания термо-

клина  $\gamma = \frac{\Delta h}{\Delta H}$ , то она составит  $\gamma = 1,4$  м на метр изменения глубины моря ( $\Delta h$  — изменение глубины залегания термоклина при изменении глубины моря на  $\Delta H$ ). Поднявшись с  $\sim 20$  до 7 м, верхняя граница термоклина с такой же скоростью опустилась до глубины  $\sim 22$  м, т. е. на этом участке изменения глубины моря в прост-

ранственным профиле термоклина имели максимум  $\sim 13$  м. На глубине от 25 и до 20 м имело место также поднятие термоклина примерно на ту же глубину.

Кривая 2 представляет собой профиль второго максимума термоклина. Как видно из этого рисунка, в области глубин 75—55 м второй максимум градиента  $T$  имеет тенденцию к заглублению. В указанной области он опустился на 3 м. Аналогично профилю первого максимума градиента  $T$  здесь также имеет место некоторый подъем максимума термоклина (величина этого подъема не превышала 3 м), и смещен он

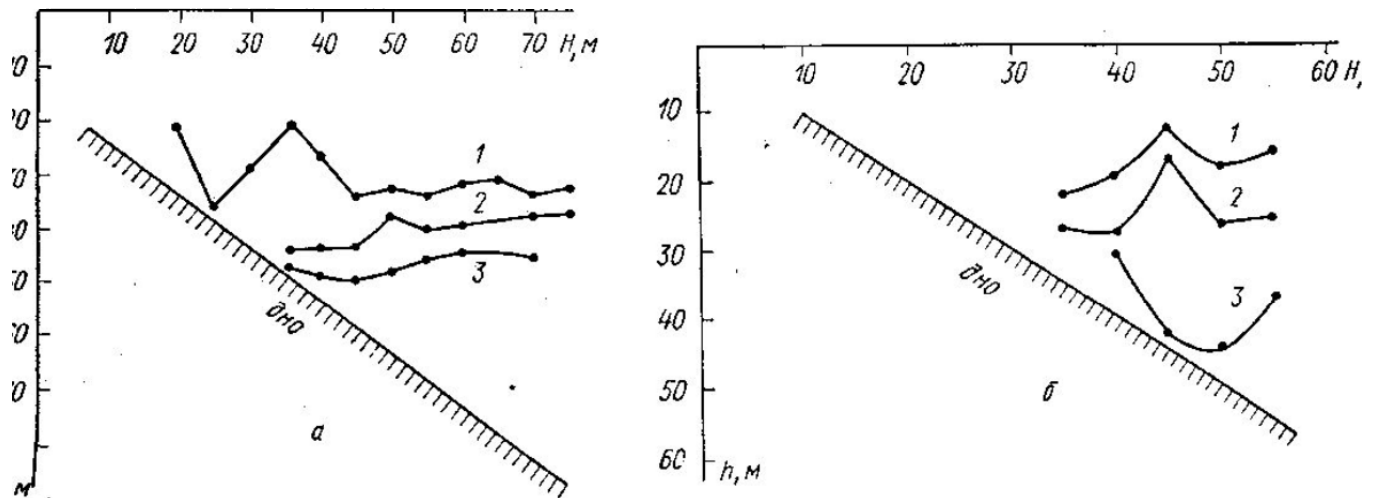


Рис. 1. Профиль положения максимумов градиента температуры в прибрежной части моря ( $h$ —глубина, соответствующая максимумам градиента температуры,  $H$ —глубина моря в точке измерения)

в сторону больших глубин. После подъема наблюдалось более быстрое опускание второго максимума градиента  $T$  до глубины 30 м. При дальнейшем приближении к берегу положение максимума градиента  $T$  не изменялось вплоть до его исчезновения. И, наконец, кривая 3 относится к третьему максимуму градиента  $T$ . Она имеет более плавное изменение и характеризуется некоторым возвышением на глубине  $\sim 60$  м и более заметным минимумом на глубине 45 м. Небольшой подъем кривой в сторону меньших глубин обрывается, третий максимум градиента  $T$  исчезает. Обращает внимание на себя тот факт, что глубины, на которых исчезали второй и третий максимумы, совпадают с глубиной, на которой имел место максимум поднятия верхней границы термоклина.

На рис. 1, б представлены профили трех максимумов градиента  $T$ . Эта серия измерений проводилась при движении корабля в сторону берега. Зондирование производилось с глубины 55 м. При этом на основании предыдущего измерения считалось, что на глубинах больше 55 м термоклин по-прежнему находился на постоянной глубине. Измерения проводились с 18 ч до 19 ч 35 мин 23 июля 1974 г. Погода существенно не отличалась от той, что была при движении корабля от берега. Оба эти галса сделаны под некоторым углом друг к другу, с вершиной на глубине  $\sim 75$  м.

Из рис. 1, б видно, что, хотя и в этом случае наблюдалось резкое поднятие верхней границы термоклина, общая структура уже изменилась. В этом случае профили первого и второго максимумов подобны друг другу. Начиная с глубины 50 м в обоих случаях начинается подъем термоклина со скоростью  $\gamma=1$  м на метр глубины и  $\gamma=2$  м на метр глубины для первого и второго максимумов дна  $aT$ . В отличие от рис. 1, а здесь максимальный подъем термоклина наблюдался на глубине 45 м, причем высота подъема второго максимума градиента  $T$  вдвое превышала высоту подъема второго максимума. Если первые два максимума градиента  $T$  сохраняли общую с рис. 1, а тенденцию, то третий максимум существенно изменился. Здесь уже наблюдалось ярко выраженное заглубление нижней границы термоклина в области глубин от 55 до 40 м. Скорость опускания третьего максимума градиента  $T$  составила  $\gamma=1,5$  м на метр глубины.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Китайгородский С. А. Физика атмосферы и океана. Л., 1970.
2. Восканян А. Г., Пивоваров А. А., Хунджуа Г. Г. «Изв. АН СССР», физика атмосферы и океана, 3, 1968.
3. Восканян А. Г., Пивоваров А. А., Хунджуа Г. Г. «Океанология», 10, № 4, 1970.
4. Китайгородский С. А. Труды ИО АН СССР, т. 52, 1961.

Поступила в редакцию  
17.11 1974 г.

Кафедра  
физики моря и вод суши