



PEARL

**Mediterranean lens after collision with seamounts**

Shapiro, GI; Meschanov, SL; Yemel'Yanov, MV

**Published in:**  
Default journal

**Publication date:**  
1992

**Link:**  
[Link to publication in PEARL](#)

**Citation for published version (APA):**  
Shapiro, GI., Meschanov, SL., & Yemel'Yanov, MV. (1992). Mediterranean lens after collision with seamounts. *Default journal*, 32(0), 420-427.

All content in PEARL is protected by copyright law. Author manuscripts are made available in accordance with publisher policies. Wherever possible please cite the published version using the details provided on the item record or document. In the absence of an open licence (e.g. Creative Commons), permissions for further reuse of content should be sought from the publisher or author.

УДК 551.465

Г. И. ШАПИРО, С. Л. МЕЩАНОВ, М. В. ЕМЕЛЬЯНОВ

ЛИНЗА СРЕДИЗЕМНОМОРСКИХ ВОД ПОСЛЕ СТОЛКНОВЕНИЯ  
С ПОДВОДНЫМИ ГОРАМИ

Изолированная линза средиземноморских вод обнаружена в январе 1990 г. в 50 милях к западу от подводной горы Эрвинг. В горизонтальной плоскости линза имеет эллиптическую форму с осями 90 и 70 км. Аномалии температуры и солености достигают  $3,75^{\circ}\text{C}$  и  $0,76\text{‰}$ . Обнаружены также два небольших пятна теплой и соленой воды, отделившиеся от линзы. В сумме они содержат  $\sim 16\%$  от полного объема линзы и образовались, по-видимому, вследствие столкновения линзы с подводными горами. Наши результаты доказывают, что линза прошла через узкий (шириной 45 км) проход между подводными горами Эрвинг и Йер в западной части Канарской котловины. При столкновении линза деформировалась, но не разрушилась. Она сохранилась в виде когерентного, устойчивого объекта. Этот результат противоречит существующим представлениям о том, что для крупных средиземноморских линз якобы невозможно преодолеть цепочку подводных гор, расположенную между  $30$  и  $35^{\circ}$  с. ш.

Промежуточные средиземноморские воды (СМВ) в Северной Атлантике занимают диапазон глубин от 500 до 1500 м. Они распространяются не только в виде сплошного языка, но и в виде изолированных линз повышенной солености [1, 10]. Одним из районов, где линзы СМВ наблюдались неоднократно [1, 10, 11, 13, 14], является Канарская котловина, которая с востока ограничена Канарскими островами и островом Мадейра, а с запада — цепочкой подводных гор Плейто, Крузер, Эрвинг, Йер и Метеор. По некоторым оценкам, линзы СМВ занимают от 4 до 8% всей площади Канарской котловины [10, 13] и перемещаются в основном на запад или юго-запад. Поэтому весьма вероятно, что в западной части котловины они могут сталкиваться с подводными горами, вершины которых достигают глубин 200—300 м.

Из теоретических оценок [9], лабораторных экспериментов [4, 5], а в последнее время и из прямых наблюдений [11, 14] известно, что в глубоководных районах оксана линзы месяцами и даже годами сохраняют свою индивидуальность, преодолевая тысячи километров. А как обстоит дело на мелководье, в районах со сложным подводным рельефом? Приводит ли столкновение с цепочкой гор к разрушению линзы? Ответ на этот вопрос имеет важное значение для понимания процессов глобального теплопереноса, поскольку предполагаемые траектории линз СМВ пересекают не только гряду подводных гор на западе Канарской котловины, но и Срединно-Атлантический хребет [6, 12]. Нам известно несколько работ, относящихся к этой проблеме и основанных на материалах натуральных наблюдений.

В работе [3] приведены данные двух STD-съемок линзы СМВ в западной части Канарской котловины. Показано, что при подходе к подножию подводной горы Крузер на границе линзы развиваются волнообразные возмущения. Авторы пришли к выводу, что эти возмущения могут нарастать и приводить к разрушению линзы.

Мезомасштабные пятна повышенной солености, обнаруженные в районе подводной горы Метеор на глубинах 600—1300 м, были интерпретированы

G. I. SHAPIRO, S. I. MESCHANOV, M. V. EMELYANOV

## MEDITERRANEAN LENS AFTER COLLISION WITH SEAMOUNTS

Isolated lens of Mediterranean Water was found 50 miles west off the Irving seamount in January, 1990. In horizontal plane the lens has an elliptical shape, the major axis being 90 km and the minor axis being 70 km. The anomalies of temperature and salinity in the lens are as large as  $3.75^{\circ}\text{C}$  and  $0.76\text{‰}$ , respectively. Two small saline and warm patches splitted from the lens were also observed. They content  $\sim 16\%$  of the whole lens volume and appeared to be formed as a consequence of the lens collision with seamounts. Our results proof that the lens passed westward from the Canary Basin through the narrow (45 km wide) passage between the seamounts Irving and Hyeres. Despite the deformation of shape, the lens was not destroyed after collision. It remained as a coherent, stable feature. This result is in a contradiction to the idea, that it would appear almost impossible for large Mediterranean lenses to pass through the line of seamounts stretching from  $30$  to  $35^{\circ}\text{N}$ .

---

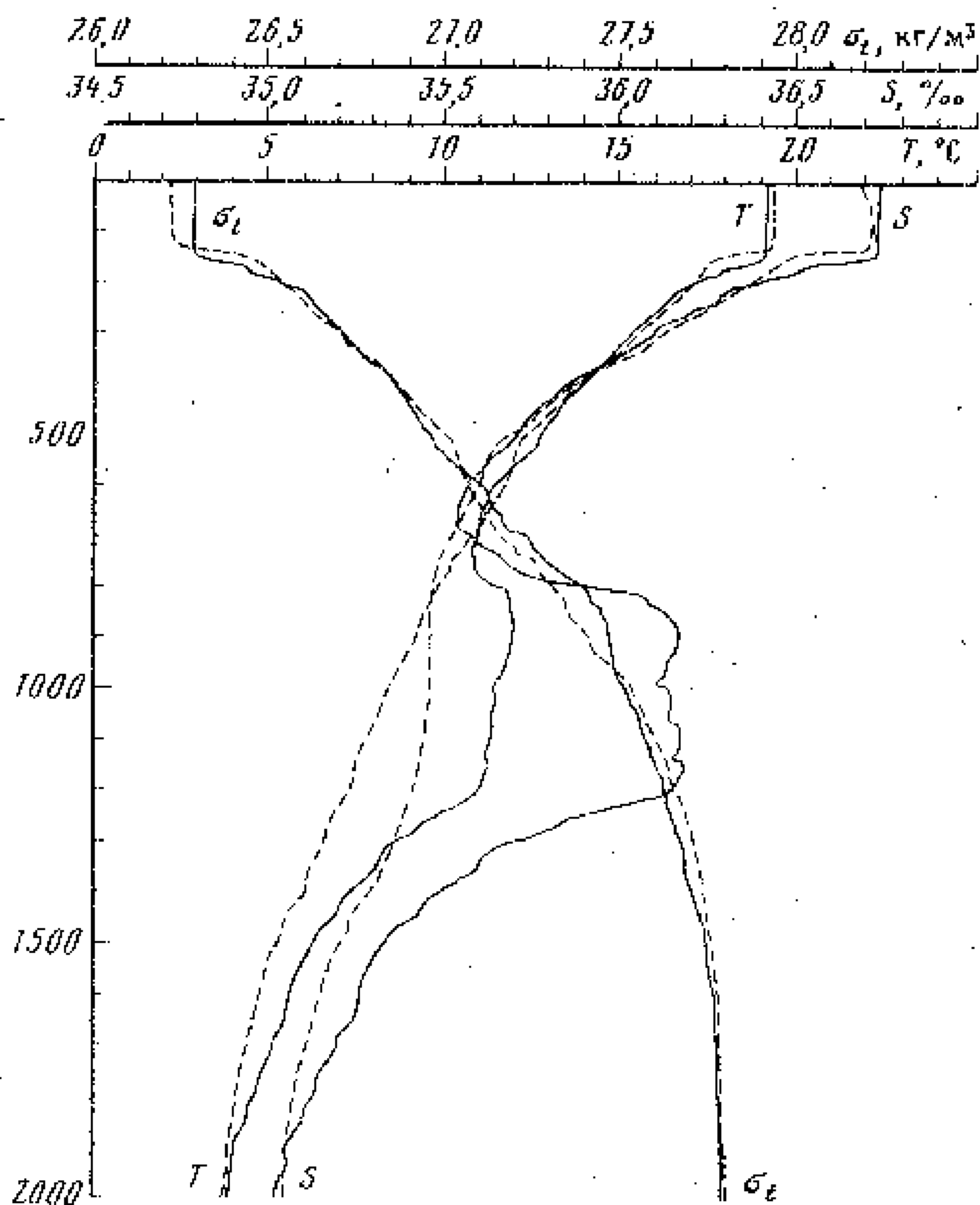


Рис. 1. Вертикальные профили температуры, солёности и условной плотности  $\sigma_t$  в ядре линзы (ст. 42, сплошные линии) и в фоновых водах (ст. 38, пунктирные линии)

в работе [7] как «следы» или «осколки» линз СМВ, проходивших ранее через этот район. Аналогичные пятна были обнаружены одним из авторов (Г. И. Шапиро) вблизи горы Ампер в 20-м рейсе НИС «Профессор Штокман» (1988 г.).

Наиболее детально проблема влияния донной топографии на динамику и устойчивость линз рассмотрена в работе [14], где приведено описание столкновения линзы СМВ радиусом 50 км с горной грядой на западе Канарской котловины. Непрерывное долговременное наблюдение за положением линзы и скоростью орбитального вращения частиц воды осуществлялось с помощью поплавков нейтральной плавучести SOFAR, уравновешенных на горизонте 1100 м. В июле 1986 г. линза приближалась с востока к вершине г. Йер, и вращение поплавков стало менее упорядоченным, а затем прекратилось. Выполненная в октябре 1986 г. STD-съемка не обнаружила никаких следов этой линзы к западу от г. Йер. На основании изложенных фактов авторами работы [14] был сделан вывод о том, что линза полностью разрушилась при прохождении между г. Йер и безымянной вершиной, расположенной на 40 км южнее и, следовательно, «...для крупных средиземноморских линз представляется почти невозможным пройти через цепочку подводных гор, расположенную между 30 и 35° с. ш.» [14].

В настоящей работе представлены результаты исследований, проведенных в январе 1990 г. в 14-м рейсе УЭС «Профессор С. Дорофеев», которые опровергают этот вывод<sup>1</sup>. Измерения выполнялись зондирующим комплек-

<sup>1</sup> Основные положения статьи докладывались на семинаре в Вудс-Хольском океанографическом институте, США. Ф. Ричардсон, один из авторов статьи [14], согласился с нашими выводами.

Параметр	Центр линзы (ст. 42)	Осколок линзы (ст. 34)	Осколок линзы (ст. 37)
Широта (с.)	32°12'5	31°34'	31°34'
Долгота (з.)	28°59'0	28°20'	29°07'
Диапазон глубин (м)	690—1355 (650—1435)	670—1235	855—1045
$S_{\max}$ (‰)	36,21(36,2)	35,82	35,71
$T_{\max}$ (°C)	12,16(12,3)	10,85	9,97
$L_a$ (км)	45(55)	15	<15
$L_b$ (км)	35(40)	15	<15
$H$ (м)	335(390)	285	95
$V$ (км <sup>3</sup> )	2200(3600)	270	<90
$Q$ (Дж)	$1,31 \cdot 10^{19}$	$2,74 \cdot 10^{18}$	$0,78 \cdot 10^{18}$
$M$ (кг)	$7,18 \cdot 10^{11}$	$1,11 \cdot 10^{11}$	$0,32 \cdot 10^{11}$

Примечание. За границу линзы принята изохалина 35,60‰, за границу осколков — изохалина 35,55‰. В скобках указаны параметры линзы в ноябре 1989 г. [3].

сом, состоящим из вспомогательного STD-зонда «Гидрозонд» и жестко закрепленного внутри его батометрической секции STD-зонда «Seacat» (фирма «Sea-Bird Electronics, США»). Одновременно отбирались пробы воды на заданных горизонтах для гидрохимических определений<sup>2</sup>.

Интенсивная линза СМВ была обнаружена 10—14 января 1991 г. примерно в 50 км к западу от вершины подводной горы Эрвинг (см. таблицу). По вертикали линза, которая получила имя «Эрвинг», имеет бимодальную (двухъядерную) структуру, особенно заметно выраженную в поле солёности (рис. 1). Максимумы солёности расположены на глубинах 885 м ( $S = 36,19\text{‰}$ ) и 1145 м ( $S = 36,21\text{‰}$ ). Слой повышенной солёности ( $S > 35,60\text{‰}$ ) в центре линзы занимает диапазон глубин от 690 до 1355 м, т. е. определенная таким образом толщина линзы составляет 665 м. Отсутствие ступенчатых структур в нижней части линзы свидетельствует о подавлении конвекции в виде солевых пальцев, что, возможно, обусловлено трением о дно при прохождении линзы через мелководный проход между горами.

В верхнем ядре линзы зарегистрировано инверсионное повышение температуры: от 11,00° С при  $z = 695$  м до максимального значения 12,16° С при  $z = 855$  м. Второму (более глубокому) максимуму солёности соответствует изотермия в профиле температуры:  $T = 11,66^\circ$  С при  $z = 980$  м и  $T = 11,46^\circ$  С при  $z = 1145$  м. В верхнем ядре средний градиент температуры примерно совпадает по абсолютной величине с градиентом в окружающей жидкости, но противоположен по знаку, в то время как в нижнем ядре он в пять раз меньше фонового. Плотностная стратификация в верхнем ядре линзы примерно вдвое слабее, чем в фоновых водах.

Бимодальная вертикальная структура линзы «Эрвинг» скорее всего обусловлена ее формированием у мыса Сан-Винсент в Кадисском заливе, где присутствие двойного максимума на вертикальных профилях температуры и солёности является типичным [14, 15].

В верхнем ядре линзы «Эрвинг» (на уровне  $z = 885$  м) аномалия солёности относительно фона составляет  $\Delta S = 0,71\text{‰}$ , аномалия температуры равна  $\Delta T = 2,66^\circ$  С (рис. 1). В нижнем ядре ( $z = 1145$  м) соответственно  $\Delta S = 0,76\text{‰}$  и  $\Delta T = 3,75^\circ$  С. Изопикнический анализ даст близкие значения: в верхнем ядре ( $\sigma_t = 27,48$ )  $\Delta S = 0,71\text{‰}$ ,  $\Delta T = 2,91^\circ$  С, а в нижнем ( $\sigma_t = 27,63$ )  $\Delta S = 0,74\text{‰}$ ,  $\Delta T = 3,35^\circ$  С. Аномалия скорости звука составляет  $\Delta c = 10,2$  м/с (на  $z = 885$  м) и  $\Delta c = 14,6$  м/с (на  $z = 1145$  м). Как показывают

<sup>2</sup> Химические определения выполнялись сотрудниками Ленинградского гидрометеорологического института под руководством Н. Н. Осипова.



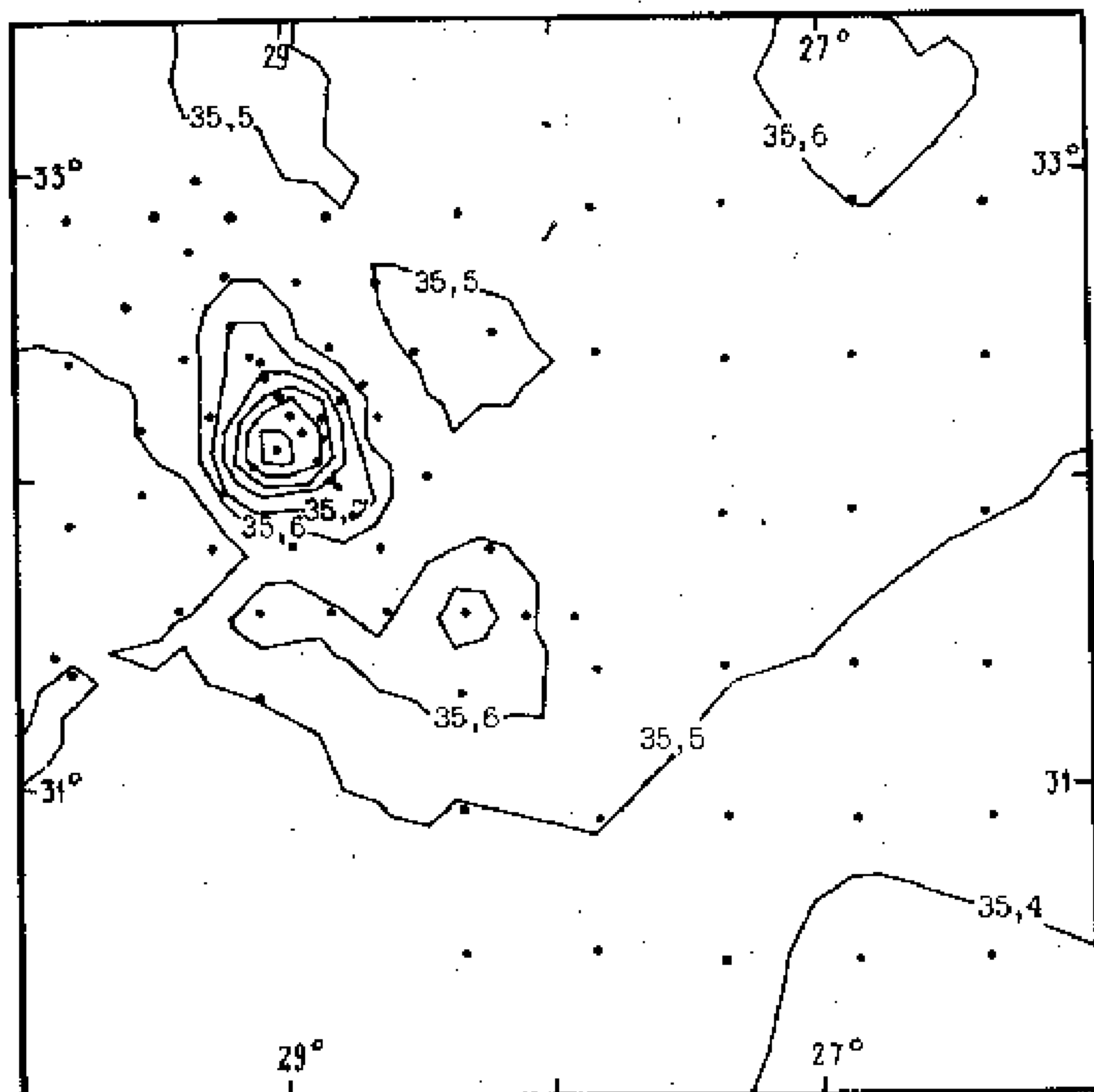


Рис. 2. Распределение солёности на глубине 1000 м. Точками отмечено положение *CTD*-зондирований

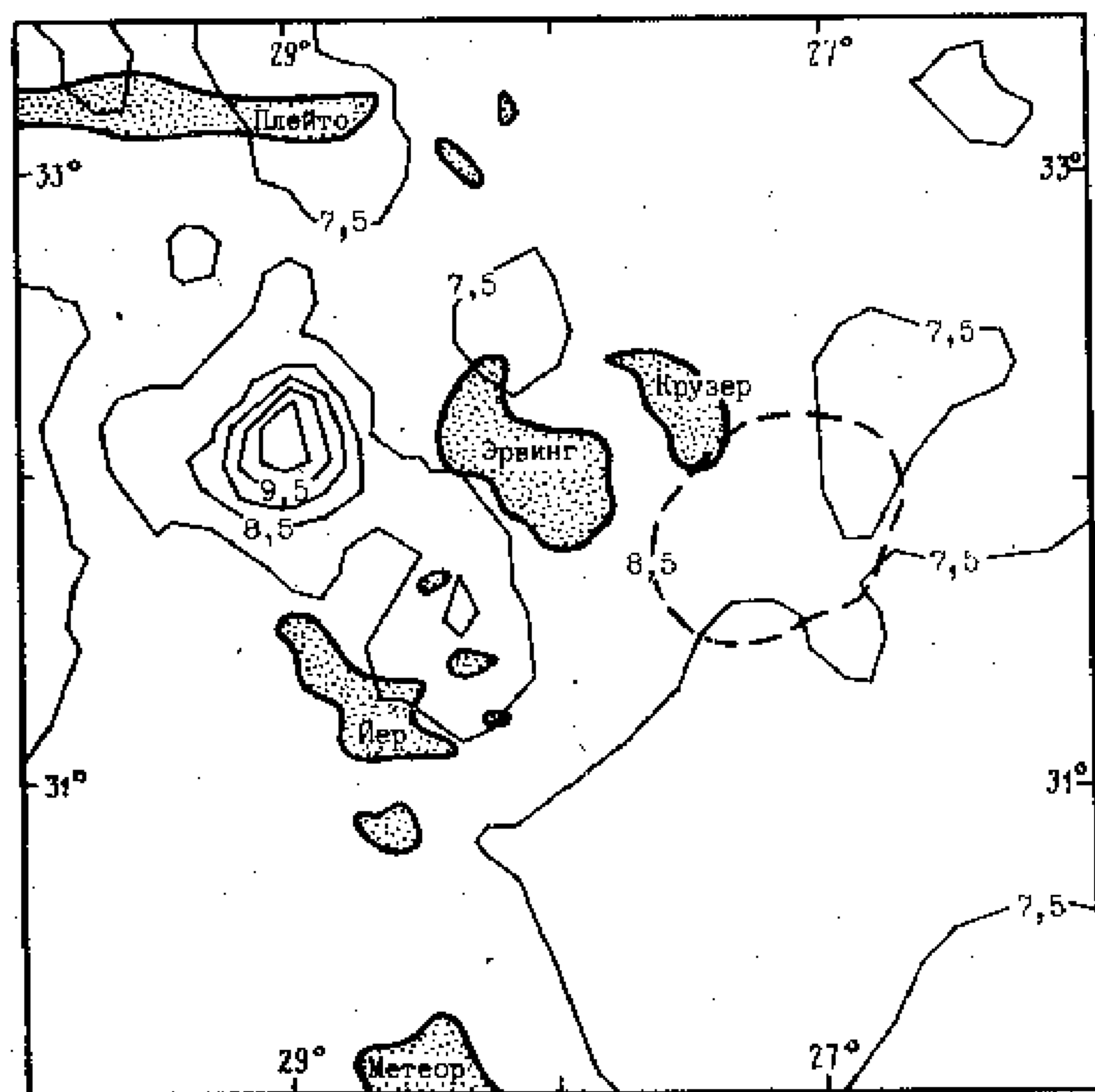


Рис. 3. Распределение температуры на глубине 1200 м. Пунктиром показана изотерма 8,5° С, соответствующая положению линзы «Эрвинг» в ноябре 1989 г. по данным [3]. Подводные горы отмечены изобатой 1500 м

расчеты, такие сильные возмущения поля скорости звука приводят к возникновению локального антиканала и заметно искажают ход акустических лучей [8].

В горизонтальной плоскости (на уровне 1000 м) линза имеет эллиптическую форму: с северо-запада на юго-восток ее диаметр по изохалине 35,60‰ составляет 90 км, а с северо-востока на юго-запад — 70 км (рис. 2). Полагая линзу трехосным эллипсоидом, получаем величину ее объема

$$V = \frac{4}{3} \pi H L_a L_b = 2,2 \cdot 10^3 \text{ км}^3,$$

где  $H = 335$  м,  $L_a = 45$  км,  $L_b = 35$  км — полуоси эллипсоида по распределению солености.

Кроме основного ядра линзы были обнаружены два пятна теплых, соленых вод (см. таблицу). За внешнюю границу пятен была принята изохалина  $S = 35,55\text{‰}$ . Первое пятно занимает слой толщиной 565 м в диапазоне глубин 670—1235 м и имеет диаметр около 30 км. Его объем равен  $270 \text{ км}^3$ , максимальная соленость  $S = 35,82\text{‰}$ , максимальный вертикальный градиент солености  $3,6 \cdot 10^{-3}\text{‰ м}^{-1}$  ( $z = 820$  м). Второй осколок менее мощный: толщина равна 190 м (диапазон глубин 855—1045 м), диаметр не превышает 30 км, объем не более  $90 \text{ км}^3$ . Максимальная соленость  $S = 35,71\text{‰}$  наблюдается на горизонте 1005 м, максимальный градиент солености  $5,0 \cdot 10^{-3}\text{‰ м}^{-1}$  — на горизонте 865 м. Суммарный объем пятен составляет  $360 \text{ км}^3$ , или 16% от объема линзы.

Судя по расположению и параметрам этих пятен (см. таблицу), оба они являются осколками основного ядра линзы «Эрвинг» и образовались при ее прохождении через узкий (ширина 45 км на горизонте 1500 м) проход между вершинами подводных гор Эрвинг и Йер. На это же указывает слабый температурный и соленостный след, тянущийся за линзой на глубинных горизонтах (1200—1400 м) (см. рис. 3).

Кроме того, основные параметры линзы (например, температура и соленость в центре) совпадают с соответствующими параметрами линзы, обнаруженной в Канарской котловине за два месяца до этого экспедицией под руководством Филюшкина [3]. В ноябре 1989 г. линза была расположена у восточного подножия подводной горы Крузер (рис. 3) и перемещалась со скоростью около 2 миль в сутки на юго-запад, в направлении подводных гор Эрвинг и Йер. Во время нашей экспедиции (январь 1990 г.) не было обнаружено никаких следов линзы по восточную сторону подводной гряды. Поэтому можно с высокой степенью вероятности утверждать, что объектом исследования обеих экспедиций являлась одна и та же линза СМВ.

Считая линзу эллиптической в плане (рис. 2), параметризуем пространственное распределение проинтегрированных по толщине линзы изопикнических аномалий теплосодержания  $q(r, \varphi)$  гауссовской зависимостью

$$q(r, \varphi) = q_0 \exp \left[ -\frac{r^2}{L^2(\varphi)} \right],$$

где  $r$  — расстояние от центра линзы;  $\varphi$  — угол полярной системы координат;  $q_0 = 7,23 \cdot 10^9 \text{ Дж/м}^2$  — значение аномалии в центре линзы;  $L(\varphi)$  — переменный радиус линзы, зависящий от полярного угла:

$$L^2(\varphi) = \frac{L_a^2}{1 - \varepsilon^2 \cos^2 \varphi},$$

где эксцентриситет  $\varepsilon$  определяется формулой  $\varepsilon^2 = 1 - L_b^2/L_a^2$ ,  $L_a = 30$  км,  $L_b = 20$  км — полуоси линзы, рассчитанные методом наименьших квадратов по распределению  $q(r, \varphi)$ . Для

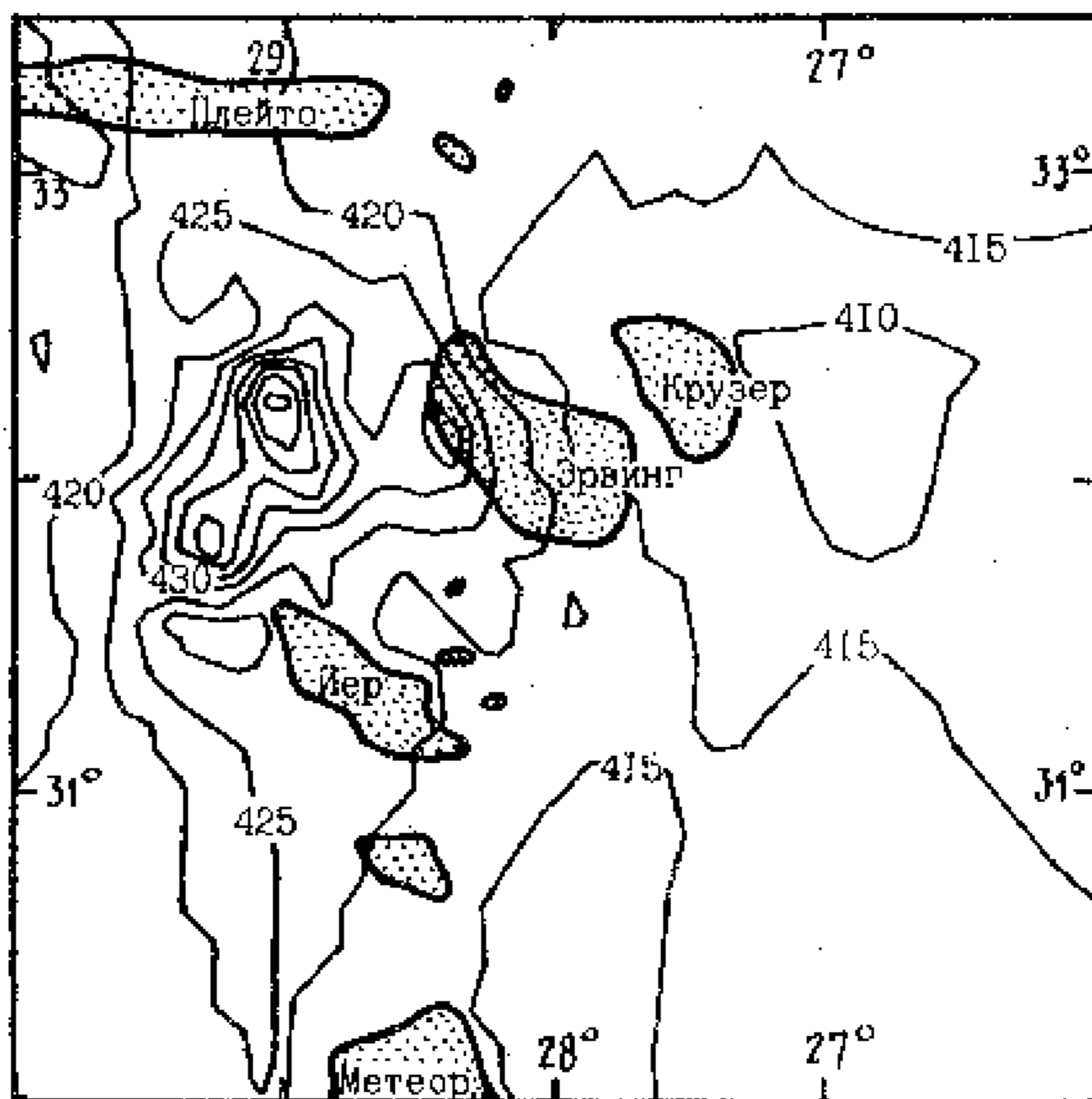


Рис. 4. Аномалии динамических высот на горизонте 1100 м относительно уровня 1900 м. Подводные горы отмечены изобатой 1500 м

интегральной по объему линзы аномалии теплосодержания  $Q$  получаем

$$Q = \frac{\pi}{\sqrt{1 - \epsilon^2}} q_0 L_b^2$$

Аналогичная формула была получена и для интегральной по объему линзы аномалии солесодержания  $M$ . Численные значения  $Q$  и  $M$  представлены в таблице. Осколки линзы в сумме содержат 27% от теплосодержания  $Q$  линзы и около 20% от ее солесодержания  $M$ .

Совместный анализ карт динамической топографии, температуры и солёности позволяет выделить четыре когерентные, динамически устойчивые структуры, а именно: собственно средиземноморскую линзу, два ее осколка, «потерянных» при прохождении через горную гряду, и антициклонический вихрь к западу от подводной горы Эрвинг (рис. 4). Линза, вращаясь в антициклоническом направлении, возбуждает над собой вихревые движения, которые прослеживаются в поле динамических высот от горизонта 1400 м вплоть до поверхности. Оба осколка линзы расположены в зоне слабой вихревой активности и геострофических течений и в отличие от основного ядра линзы практически не проявляются в поле динамических высот.

Антициклон, который прослеживается в слое 0—1000 м к западу от горы Эрвинг (рис. 4), является, по-видимому, квазистационарным баротропным топографическим вихрем. Мы считаем, что именно он привел к затягиванию линзы между горами Эрвинг и Йер и ее переносу на западную сторону подводной гряды.

Основные когерентные структуры, которые были выделены по гидрофизическим данным, прослеживаются и на картах гидрохимических элементов, правда, с меньшей степенью выраженности. Наиболее репрезентативным является распределение фосфатов: местоположение линзы и двух ее осколков характеризуется замкнутыми областями с пониженным (24—28 мкг/л) по сравнению с фоном (34 мкг/л) содержанием фосфатов. Линзе «Эрвинг» соответствует также область пониженных (450—500 мкг/л) по сравнению



с фоном (580—600 мкг/л) концентраций силикатов. Эта область прослеживается в диапазоне глубин 800—1000 м. Осколки линзы не выделяются в поле распределения силикатов. Ядро линзы характеризуется пониженными (< 200 мкг/л) концентрациями нитратов и небольшим минимумом содержания растворенного кислорода (< 4,4 мл/л). В распределении рН выделяется замкнутая область пониженных (7,9) по сравнению с фоном (8,0) значений, которая занимает слой 600—1200 м и соответствует средиземноморской линзе. Осколки линзы в поле распределения рН не проявляются. Ядро линзы характеризуется повышенной концентрацией тяжелых металлов.

Таким образом, установлено, что линза «Эрвинг» вышла из Канарской котловины на запад, преодолев узкий проход (45 км) между подводными горами Эрвинг и Йер. При столкновении с подводной горной грядой линза деформировалась, приобрела эллиптическую форму и наклон вертикальной оси. Линза оставила за собой «след» в виде двух осколков, суммарный объем которых составляет 16% от общего объема линзы. Такая потеря все же позволила линзе сохраниться в виде когерентного, гидродинамически устойчивого объекта.

Авторы благодарят А. Г. Зацепина за полезные обсуждения, Ю. Е. Щербакова и Н. Н. Осипова — за помощь в проведении измерений.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белкин И. М., Емельянов М. В., Костяной А. Г., Федоров К. Н. Термохалинная структура промежуточных вод океана и внутритермоклинные вихри // Внутритермоклинные вихри в океане. М.: ИО АН СССР, 1986. С. 8—34.
2. Берестов А. Л., Егорихин В. Д., Иванов Ю. А. и др. Термохалинные, гидрохимические и динамические характеристики интрузионной линзы средиземноморских вод по данным экспедиции «Мезополигон-85» в Тропической Атлантике // Внутритермоклинные вихри в океане. М.: ИО АН СССР, 1986. С. 35—49.
3. Дыхно Л. А., Морозов Е. Г., Никитин С. В. и др. О разрушении линзы средиземноморской воды при взаимодействии с рельефом дна // Океанология. 1991. Т. 31. № 1. С. 55—61.
4. Зацепин А. Г. К вопросу об эволюции плотностной линзы — интрузии во вращающейся жидкости // Внутритермоклинные вихри в океане. М.: ИО АН СССР, 1986. С. 115—119.
5. Костяной А. Г., Шапиро Г. И. Теоретическое и лабораторное моделирование мезомасштабных антициклонических океанских вихрей // Морской гидрофиз. журн. 1985. № 5. С. 14—21.
6. Костяной А. Г., Шапиро Г. И. О прогнозе траекторий вихревых линз в океане // Докл. АН СССР. 1989. Т. 309. № 5. С. 1219—1222.
7. Лозовацкий И. Д., Озмидов Р. В. Формирование тонкой структуры термохалинных полей вблизи подводных гор // Проблемы стратифицированных течений. Тез. докл. Т. 2. Саласпилс, 1988. С. 96—97.
8. Лысанов Ю. П., Плоткин А. М., Шапиро Г. И. Влияние внутритермоклинных линз на акустические поля в океане // Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана. 1989. Т. 25. № 12. С. 1272—1280.
9. Шапиро Г. И. Теоретические задачи, имеющие отношение к проблеме внутритермоклинных вихрей (ВТВ) // Внутритермоклинные вихри в океане. М.: ИО АН СССР, 1986. С. 56—61.
10. Armi L., Zenk W. Large lenses of highly saline Mediterranean water // J. Phys. Oceanogr. 1984. V. 14. N 10. P. 1560—1576.
11. Armi L., Hebert D., Oakey N. et al. Two years in the life of Mediterranean salt lens // J. Phys. Oceanogr. 1989. V. 19. N 3. P. 354—370.
12. McDowell S. E., Rossby H. T. Mediterranean water: An intense mesoscale eddy off the Bahamas // Science. 1978. V. 202. N 4372. P. 1085—1087.
13. McWilliams J. C. Submesoscale, coherent vortices in the ocean // Rev. Geophys. 1985. V. 23. N 2. P. 165—182.
14. Richardson P. L., Walsh D., Armi L. et al. Tracking three Meddies with SOFAR floats // J. Phys. Oceanogr. 1989. V. 19. N 3. P. 371—383.
15. Zenk W., Klein B., Schroöder M. Cape Verde Frontal Zone // Deep-Sea Res. 1990.