

Рис 4 Результаты определения намагниченности в слое А — склонение и наклонение намагниченности равны нулю, Б — направление намагниченности совпадает с направлением нормального магнитного поля Земли

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Бульчев А А, Гилод Д А, Куликов Е Ю, Шрейдер А А Методика определения намагниченности в слое // Вестн Моск ун-та Сер 4 Геология 1997 № 5 С 59—67
- 2 Магнитное поле океана / И И Беляев, Г М Валяшко, А Н Иваненко и др М, 1993
- 3 Магнитные аномалии океанов и новая глобальная тектоника / Под ред Е Г Мирлина М, 1981
- 4 Международный геолого-геофизический атлас Атлантического океана / Гл ред Г Б Удинцев М, 1989—1990
- 5 Мелихов В Р, Бульчев А А Некорректные трансформации при анализе трехмерных магнитных аномалий экваториальных зон // Гравиметрические и магнитные исследования на море М, 1989 С 80—89
- 6 Старостенко В И, Оганесян С М Методы регуляризации и оптимизации в гравиметрии // Теория и практика интерпретации гравитационных и магнитных полей в СССР Киев, 1983 С 87—109

Поступила в редакцию  
28 10 2003

УДК 550 834 05

А.М. Джаниашвили, А.П. Ермаков, В.Б. Пийп

### СТРОЕНИЕ ЛИТОСФЕРЫ ЗАПАДНО-ЧЕРНОМОРСКОЙ ВПАДИНЫ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ДАННЫХ ГСЗ

**Введение** В последнее время с появлением все более мощных и гибких компьютерных технологий и современного программного обеспечения стала возможной переинтерпретация старых данных сейсморазведки. Это позволяет без значительных затрат времени и средств получать более детальные сейсмические разрезы по сравнению с предыдущими. В статье изло-

жены результаты применения метода однородных функций при переинтерпретации данных ГСЗ в западной части Черного моря с использованием современного программного обеспечения.

Исходными данными послужили годографы, полученные сотрудниками Института океанологии за период 1956—1965 гг. в Черном море. Итогом иссле-



Рис 1 Карта расположения профилей

дований стала сеть профилей в западной, центральной и восточной частях Черного моря [6]. В районе Западно-Черноморской впадины были отработаны профили 25 и 26. Эти профили имеют точку пересечения в северо-западной части Черного моря (рис 1), их общая длина составляет 660 км.

В качестве источника упругих волн использовались взрывы зарядов тротила. Как правило, применялись заряды массой 25 и 135 кг, которые подрывались с помощью гидростатических взрывателей. Интервал между точками взрывов составлял 1—3 мили (иногда до 4—5). Для приема сейсмических волн использовались гидрофоны, сейсмоакустические радиобуи и наземные станции.

#### Современные представления о глубинном строении и происхождении впадины Черного моря

В рельефе Черноморской котловины четко различаются сравнительно узкие зоны крутых континентальных склонов, местами ступенчатых или осложненных подводными хребтами, и плоская равнина, занимающая большую внутреннюю часть Западно-Черноморской впадины. Западно-Черноморская впадина имеет субокеаническую кору и осадочный чехол мощностью до 18 км. Восточно-Черноморская впадина заполнена меньшей, чем в Западно-Черноморской впадине, толщей осадков (до 10 км). Осадки подстилаются “базальтовым” слоем со скоростями продольных волн 6,5—7 км/с. “Гранитно-метаморфический” слой выклинивается на границе периферических зон и внутренней части впадины.

Внутренняя часть впадины, в отличие от сейсмических краевых зон, асейсмична, характеризуется пониженной плотностью теплового потока и полным отсутствием проявлений новейшего вулканизма (в том числе грязевого).

Более ста лет проблема происхождения впадины Черного моря вызывает неослабевающий интерес у геологов и геофизиков многих стран. Основные предположения о возможном происхождении впадины сводились к следующим гипотезам:

1) впадина представляет осколок древней коры океанического типа [2, 9],

2) впадина представляет собой “древний геосинклинальный прогиб”, находящийся в процессе своего углубления, образовалась в результате раздвига континентальной коры в конце мезозоя [5], представляет собой “колоссальный грабен” [1, 3],

3) впадина образовалась в результате глубокого опускания древнего массива, что сопровождалось изменением физических свойств континентальной коры и верхней части мантии [7],

4) черноморская задуговая впадина возникла в тылу позднемеловой—раннепалеогеновой вулканической дуги [10]. Данные, подтверждающие заложение и развитие юрской зоны субдукции на Крымско-Кавказской окраине океана Тетис, рассмотрены в работе [8].

#### Метод двумерного обращения годографов преломленных волн с использованием однородных функций

В основе метода лежит двумерное обращение годографов преломленных волн с использованием однородных функций путем локальной аппроксимации реальных скоростных полей однородными функциями двух переменных. Для реальных сред эта аппроксимация оказывается удобной. Однородные функции в полярных координатах представляют собой произведение двух функций — степенной функции радиальной координаты и произвольной функции полярного угла:

$$V = r^m \psi(\varphi),$$

где  $m$  — степень однородной функции,  $\psi(\varphi)$  — произвольная функция. Сейсмическая модель, которая описывается однородной функцией, может включать прямолинейные сейсмические границы — линии разрыва функции, а также волноводы [11].

#### Получение сейсмических разрезов

Сейсмические разрезы были получены с использованием программного пакета “ГОДОГРАФ”. На начальном этапе работы программы наблюдаемые годографы аппроксимируются годографами, отвечающими некоторой однородной функции по принципу минимального квадратичного отклонения. Затем, при

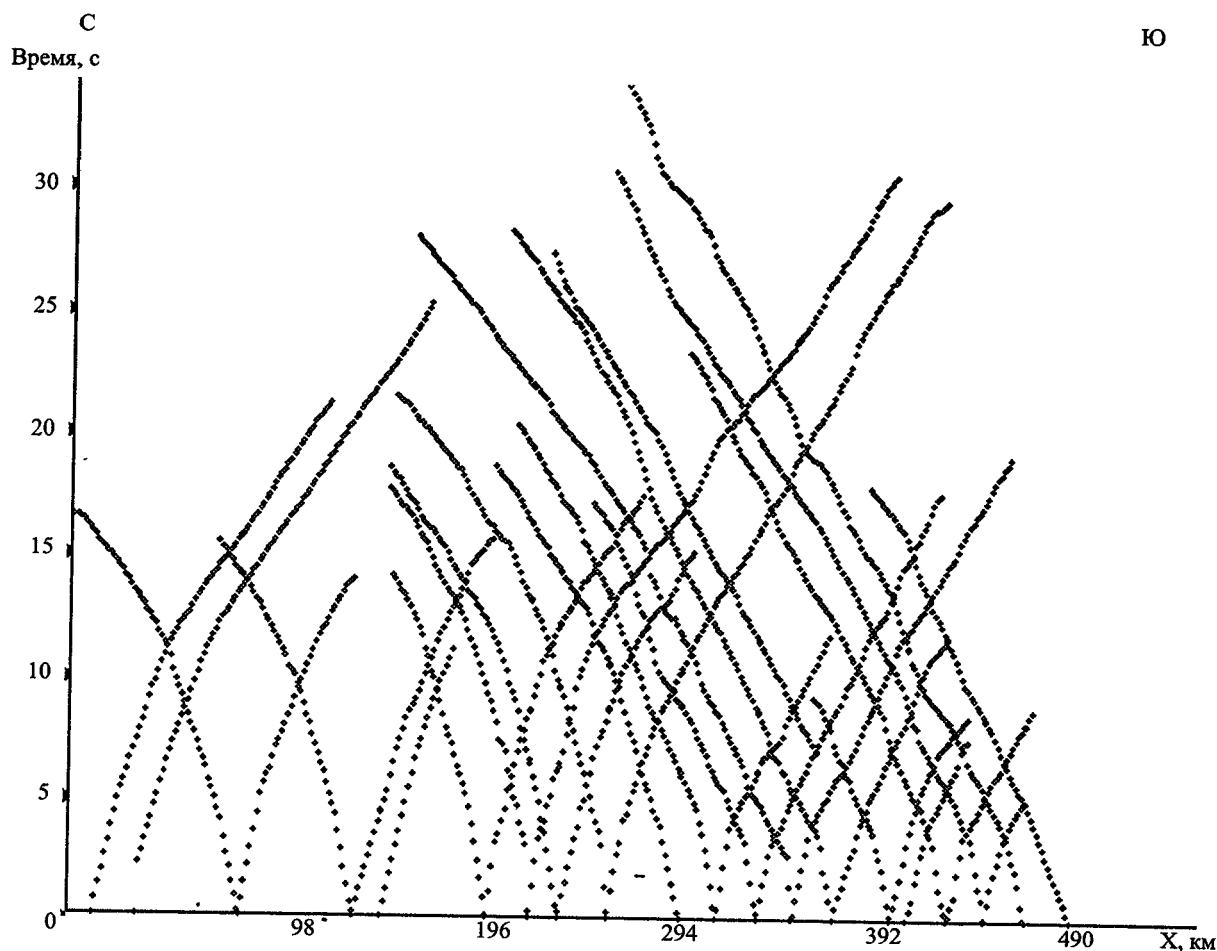


Рис 2 Наблюденные годографы по профилю 25

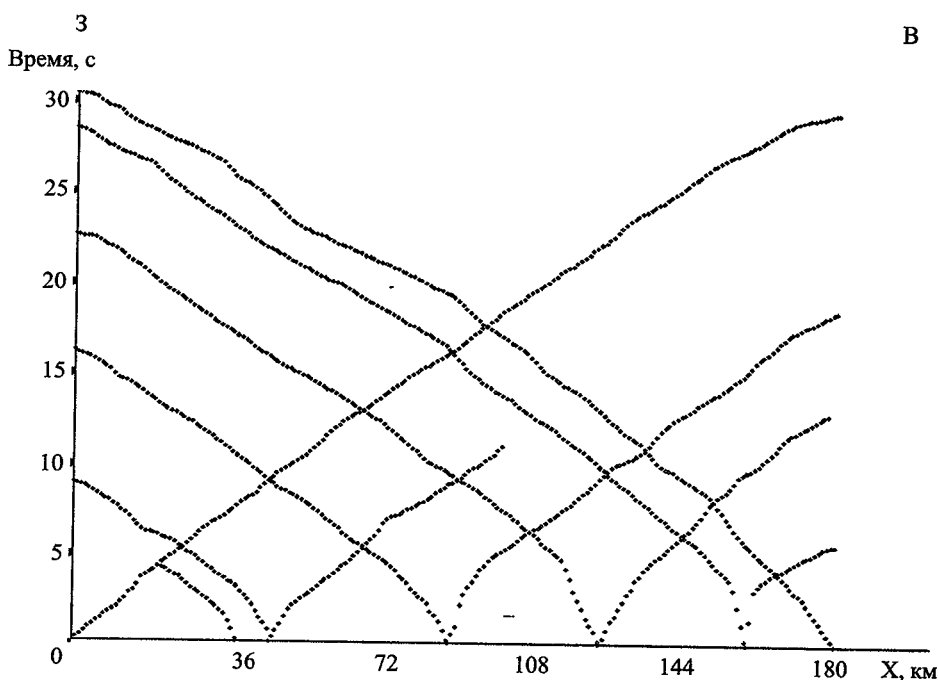


Рис 3 Наблюденные годографы по профилю 26

В решении обратной задачи, вычисляется множество сейсмических лучей для каждой пары встречных годографов. Для системы наблюдаемых годографов, содержащей несколько пар встречных и нагоняющих годографов, скоростной разрез получается путем объединения на одном разрезе нескольких локальных полей скорости, вычисленных для каждой пары встречных годографов. Системы наблюдаемых годографов по профилям 25 и 26 представлены на рис 2 и 3, на рис 4 — временной разрез равных удалений по профилю 26, сечение изолиний через 0,95 км.

Предполагая, что сейсмическая среда между источниками по латерали изменяется линейно, можно пополнить систему наблюдений путем добавления пар годографов между существующими

Рис 4 Временной раз-  
рез равных удалений по  
профилю 26 Сечение  
изолиний через 0,95 км

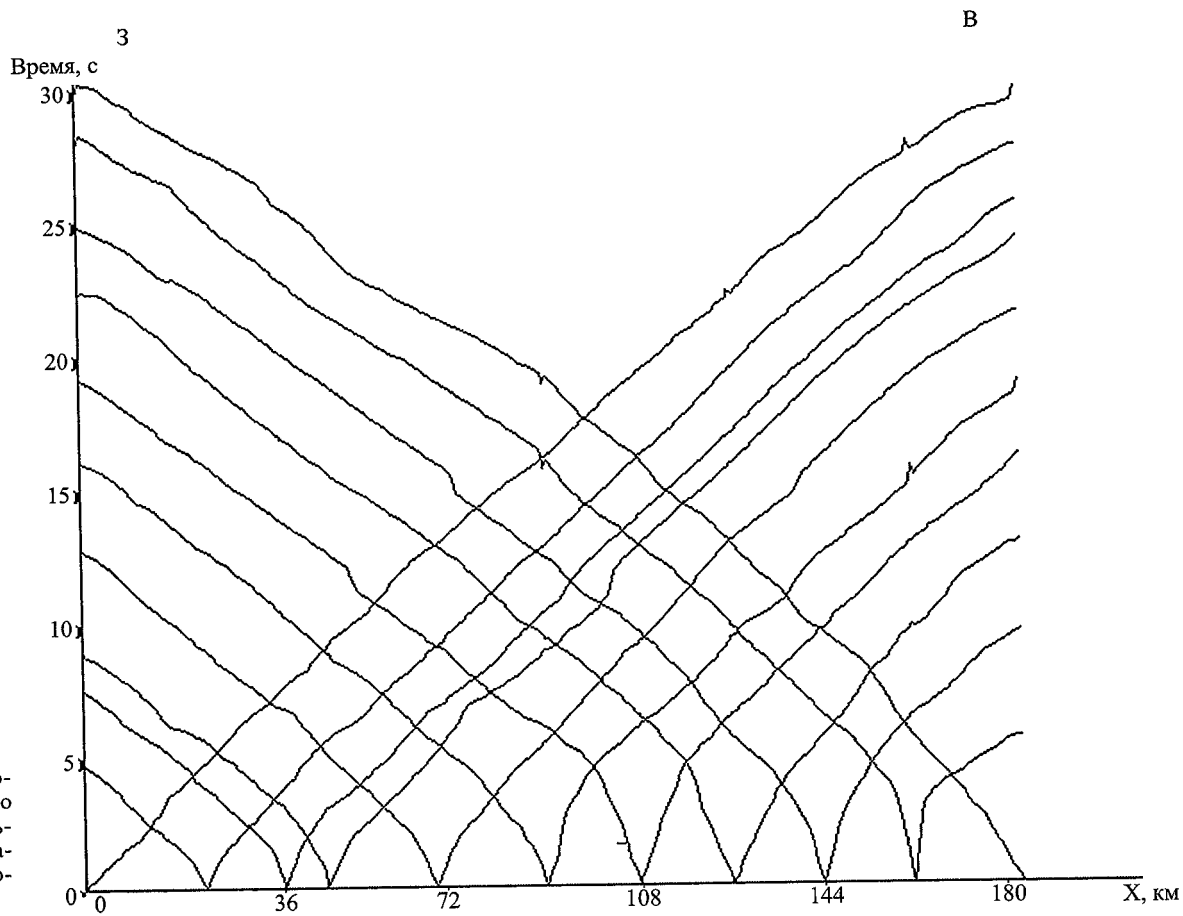
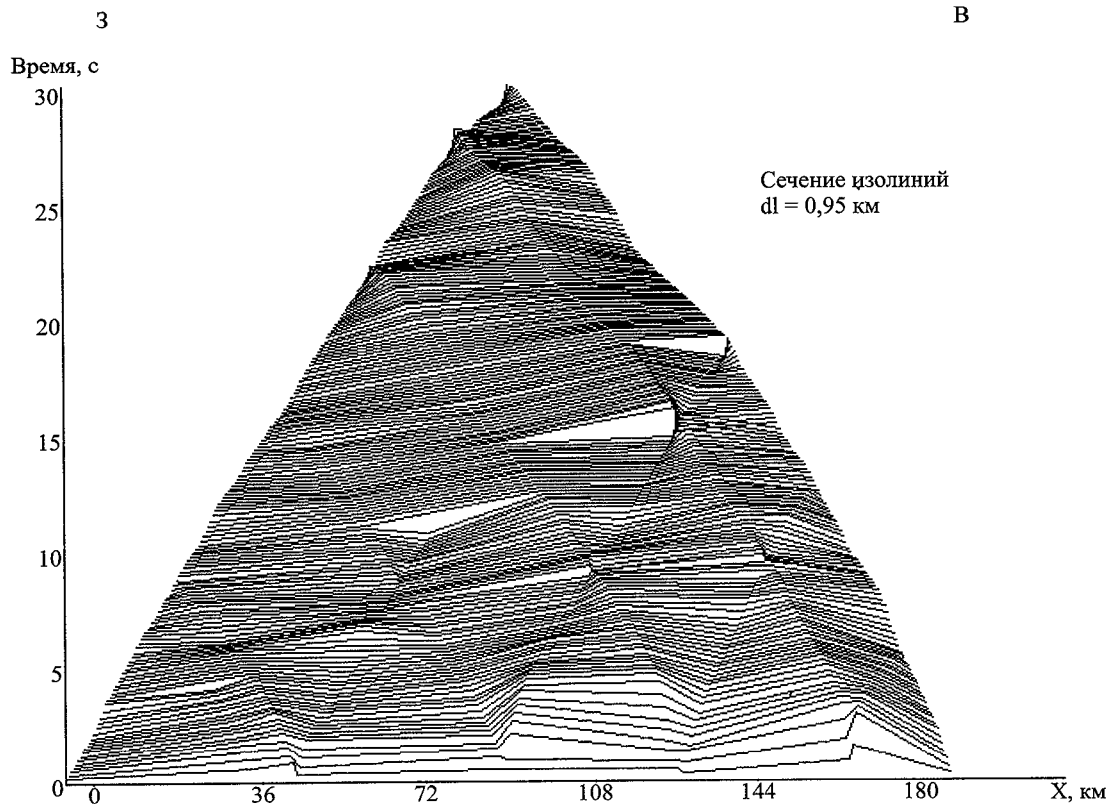


Рис 5 Интерполиро-  
ванные годографы по  
профилю 26, использо-  
ванные для обра-  
щения методом одно-  
родных функций

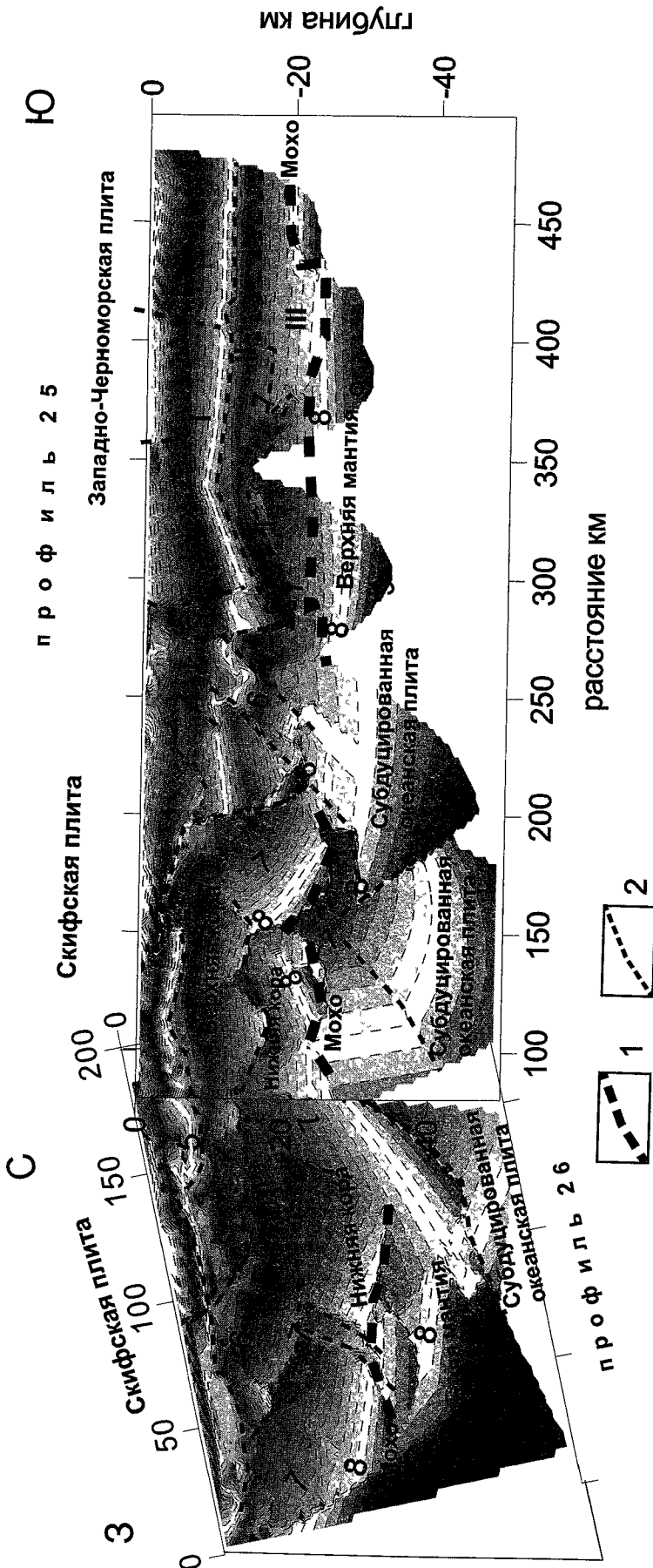


Рис 6 Разрез литосферы по профилям 25—26 Тонкие штриховые линии — изолинии скорости Величины скорости показаны серым цветом, цифры на рисунке — значения скорости, км/с 1 — граница Мохо, 2 — границы раздела и разломы

пунктами взрывов (ПВ) или провести интерполяцию с заданным шагом по профилю Это позволяет получить разрезы для профилей с относительно бедной системой наблюдения Геологическая интерпретация выполняется на основе сейсмических скоростных разрезов, полученных автоматически

**Результаты интерпретации сейсмических разрезов**

*Профиль 25* (длина профиля 500 км) Разрезы по профилям 25 и 26 приведены на рис 5 и 6 Разрезы хорошо увязываются как по значениям скоростей и глубин, так и в отношении прослеженных глубинных структур, хотя они вычислены автоматически и независимо На разрезе по профилю 25 выделяется зона сочленения субокеанской литосферы Западно-Черноморской впадины и континентальной литосферы Мезийской плиты Границу между плитами можно провести на 150—200 км от начала профиля, где характер разреза резко изменяется при переходе в область Мезийской плиты В пределах Западно-Черноморской впадины разрез отличается спокойным субгоризонтальным залеганием слоев Глубина границы Мохо находится в пределах от 20 до 24 км Скорость вблизи границы составляет около 8 км/с Выделены три слоя океанической коры Слой I имеет мощность 10—18 км и скорость сейсмических волн до 5,8 км/с Кровля слоя II характеризуется скоростями 5,6—5,8 км/с, его мощность незначительна по сравнению с мощностью слоя I и не превышает 5 км Слой II сменяется слоем III со скоростями в слое от 7 до 8 км/с Непосредственно в зоне перехода от впадины к Мезийской плите слои испытывают деформацию (соответствует поднятию Краевая ступень), разбиты на блоки и погружаются по системе разломов в сторону Мезийской плиты По характеру поведения слоев и верхней мантии (границы Мохо) эта область рассматривается как зона субдукции (или палеосубдукции)

Присутствует множество границ и блоков, усложняющих разрез На этом участке разреза с континентальным типом коры выделены верхняя кора, нижняя кора и граница Мохо

**Профиль 26** (длина профиля 200 км) Геологическое строение разреза по профилю 26, который целиком расположен в области Мезийской плиты, хорошо соответствует разрезу Мезийской плиты, полученному по профилю 25. Здесь выделяются верхняя кора, нижняя кора, граница Мохо и верхняя мантия. Анализируя в целом разрез по профилю 26 и участок разреза по профилю 25, соответствующий Мезийской плите, отметим, что глубина границы Мохо выдерживается и составляет 25–30 км. Ниже границы Мохо в верхней мантии выделена субдуцированная океаническая литосфера Черного моря (“слэб”). Осадочный слой Мезийской плиты по сравнению с Западно-Черноморской впадиной менее мощный — около 5 км.

В точке пересечения профилей 25 и 26 для каждого профиля были получены кривые зависимости ско-

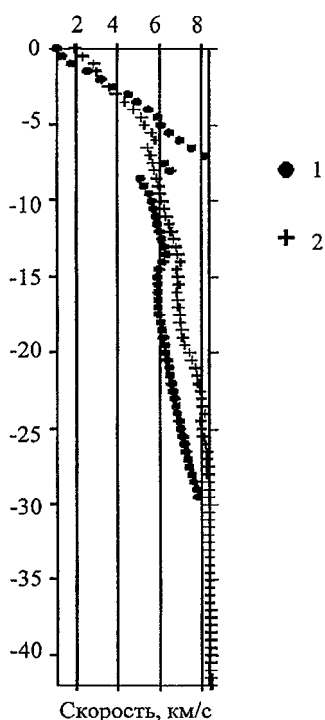


Рис 7 Зависимость скорости от глубины для разрезов по профилям 25 и 26 в точке пересечения профилей 1 — профиль 26, 2 — профиль 25

рости и глубины (рис 7). Степень совпадения этих кривых является одним из критериев правильного построения скоростных разрезов в программе “ГОДОГРАФ”. На рисунке видно удовлетворительное совпадение кривых по форме (градиенту скоростей) и некоторое систематическое отклонение по значениям скорости (примерно на 8–10%), возможно, это объясняется анизотропией скорости.

**Заключение** Таким образом, на основе анализа полученных сейсмических данных сделаны основные выводы о глубинном строении района:

1) субокеаническая кора Западно-Черноморской впадины погружена (субдуцирована) под континентальную кору Мезийской плиты, при этом слои I и II субокеанической коры испытывают деформацию в зоне сочленения двух литосфер,

2) в пределах субокеанической литосферы Черного моря выделяются осадочный слой I, переходный слой II, “базальтовый” слой III. Все они имеют субгоризонтальное залегание. Мощность слоев I и II выдержанная,

3) континентальная литосфера Мезийской плиты имеет сложное складчато-блоковое строение. В скорости упругих волн выявлена инверсионная картина ее изменения с глубиной. Выделяются верхняя, нижняя кора, слой осадков,

4) мощность субокеанической коры Западно-Черноморской впадины (глубина границы Мохо) составляет около 20 км. Мощность континентальной коры до 30 км,

5) мощность осадочного слоя субокеанической коры в среднем в два раза превышает мощность континентальной коры и составляет около 14 км.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1 Адамия Ш А, Гамкрелидзе И П, Закариадзе Г С, Лордкипанидзе М Б. Аджаро-Триалетский прогиб и проблема образования глубоководной впадины Черного моря // Геотектоника 1974 № 1 С 26–33  
 2 Артюшков Е В, Шлезингер А Е, Янишин А Л. Механизм образования глубоководных бассейнов Средиземноморского пояса М, 1980 С 10–21  
 3 Архангельский А Д, Страхов Н М. Геологическое строение и история развития Черного моря М, Л, 1938  
 4 Белявский Н А, Михайлов А Е. Строение и происхождение впадины Черного моря // Тектоника Средиземноморского пояса М, 1980 С 10–21  
 5 Гамкрелидзе И П. Механизм формирования тектонических структур и некоторые общие проблемы тектогенеза Тбилиси, 1976

6 Гончаров В П, Непрочнов Ю П, Непрочнова А Ф. Рельеф дна и глубинное строение Черноморской впадины М, 1972  
 7 Земная кора и история развития Черноморской впадины М, 1975  
 8 Ломизе М Г, Панов Д И. Амагматическая начальная фаза субдукции на Крымско-Кавказской окраине Тетиса // Геотектоника 2001 № 4 С 78–92  
 9 Сулиди-Кондратьев Е Д, Козлов В В. Деструкция земной коры в зоне сочленения Африкано-Аравийского континента и Средиземноморского складчатого пояса // Тектоника Средиземноморского пояса М, 1980 С 40–49  
 10 Хаин В Е, Ломизе М Г. Геотектоника с основами геодинамики М, 1995  
 11 Рип V B. 2D inversion of refraction travelttime curves using homogeneous functions // Geophysical Prospecting 2001 Vol 49

Поступила в редакцию 01 10 2003