

УДК 550.834.05

В.Б. Пийп¹, А.П. Ермаков²**ОКЕАНИЧЕСКАЯ КОРА ЧЕРНОМОРСКОЙ ВПАДИНЫ
ПО СЕЙСМИЧЕСКИМ ДАННЫМ**

Выполнена геологическая интерпретация сейсмических разрезов, вычисленных с использованием современных методов обработки по данным глубинного сейсмического зондирования 60-х гг. прошлого века. Получены изображения и количественные характеристики рифтовых структур в районе вала Андрусова и элементов зоны субдукции на южном обрамлении Скифской плиты. Определено положение структур в плане.

Ключевые слова: сейсмическая интерпретация, глубинное сейсмическое зондирование, Черное море, тектоника.

The geological interpretation of seismic sections calculated with use of modern methods of processing on the data of deep seismic sounding 60 years of the last century is made. The images and quantitative characteristics of rift structures in area of the Andrusov ridge and elements of a subduction zone in a southern frame of Skiff plate are received. The situation of structures in the plan is investigated.

Key words: seismic interpretation, deep seismic sounding, Black sea, tectonics.

Введение. В период с 1956 по 1965 г. в Черном море силами Института океанологии им. П.П. Ширшова проведены исследования по сети профилей методом глубинного сейсмического зондирования (ГСЗ). Исследования направлены на выяснение глубинного строения впадины Черного моря и сочленения коры Черного моря с его континентальным обрамлением на севере. Профили пересекают Черноморскую впадину в ее западной, центральной и восточной частях (рис. 1).

По этим данным с использованием новых методов обработки получены сейсмические разрезы по 17 профилям общей длиной более 2900 км. В качестве исходных материалов для вычисления сейсмических разрезов использованы наблюдаемые годографы преломленных волн, опубликованные в открытых литературных источниках [Гончаров и др., 1972; Строение западной..., 1972; Земная кора..., 1975].

На новых разрезах получены изображения рифтовой (палеорифтовой, палеоспрединговой) структуры в районе вала Андрусова. Показано, что сочленение субокеанической коры Черноморской впадины с континентальной корой Скифской плиты и районами Горного Крыма имеет черты, характерные для зоны субдукции (возможно, палеосубдукции или псевдосубдукции).

Представления о природе и тектоника впадины Черного моря. Проблема происхождения Черноморской впадины привлекает многих исследователей с конца XIX в. За последние сто с лишним лет разными исследователями предложено много разных гипотез о механизме ее образования. Рассмотрим некоторые из них:

1) Н.И. Андрусов [Андрусов, 1893], Ф.Ф. Освальд [Освальд, 1915], Б.Ф. Добрынин [Добрынин, 1922] представляли Черное море как гигантский провал земной коры (грабен), возникший в неоген-четвертичное время на месте обширной суши — Понтиды;

2) А.Д. Архангельский и Н.М. Страхов, В.А. Обручев [1926], Д.В. Наливкин [1928] Б.Л. Личков [1933], М.В. Муратов [1949] представляли Черное море в виде «древнего геосинклинального прогиба, находящегося в периоде своего углубления»;

3) после того как было установлено, что во внутренних районах впадины отсутствует «гранитный» слой [Гежельянец и др., 1958; Непрочнов, 1966], появилась гипотеза о первично океаническом (догеосинклинальном) происхождении впадины. Эту гипотезу развивали М.В. Муратов [1955], Е.Е. Милановский [1963], А.А. Сорский [1962], А.Л. Яншин [1965], Е.В. Артюшков и др. [1980], Е.Д. Сулиди-Кондратьев и др. [1980], которые считали, что впадина Черного моря представляет собой реликт океанической коры, значительно отставшей в развитии от прилегающих структур. Другие ученые [Dewey et al., 1973; Сорохтин, 1974] рассматривали безграничную кору Черного моря как остаток океанической коры раннемезозойского океана Тетис;

4) П.Н. Кропоткин [1967] и Ш.А. Адамия [1974] считали, что Черное море представляет собой рифтогенную структуру, возникшую на земной коре континентального типа и заполненную палеогеновыми вулканогенно-осадочными образованиями;

5) в работах [Finetti et al., 1988; Belousov et al., 1988] выдвинута идея двухстадийного рифтинга. Предполагается, что в результате первой фазы, про-

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра сейсмологии и геоакустики, вед. н. с.; e-mail: piip@list.ru

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра сейсмологии и геоакустики, вед. н. с.; e-mail: ermakov@geol.msu.ru

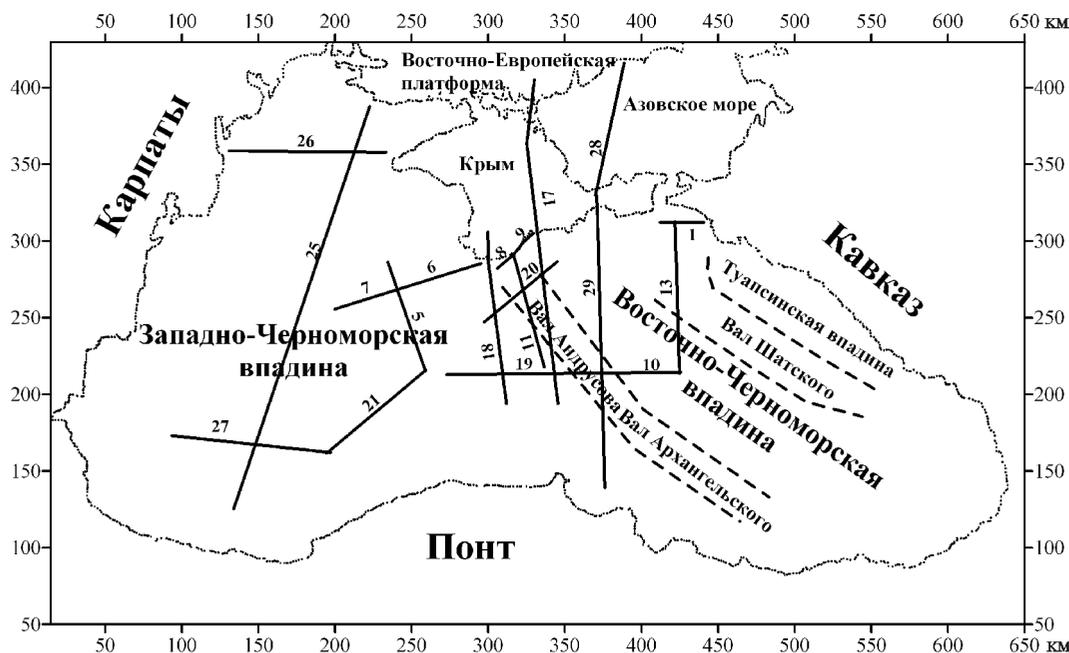


Рис. 1. Схема расположения профилей ГСЗ

должавшейся в течение лейаса–доггера, образовался бассейн Большого Кавказа. В это время Черное море представляло мелководный бассейн. Глубоководный бассейн образовался в результате второй фазы, начавшейся в раннем мелу. При этом Западная и Восточная впадины, по их мнению, раскрывались синхронно, но развивались по-разному;

б) идею переработки континентальной коры («базификации») с образованием субокеанической коры в глубоководной впадине Черного моря рассматривали С.И. Субботин с соавторами [1964], А.Л. Яншин с соавторами [1980], А.В. Шлезингер, [1981], В.В. Белоусов [1962], М.В. Муратов [1972] и многие другие;

7) Е.В. Артюшков [Артюшков, 1993] считает, что на месте Черноморской акватории существовали две разрозненные относительно глубокие впадины (Западно- и Восточно-Черноморская), заложившиеся на континентальной коре. На новейшем этапе произошло их быстрое погружение с формированием единого современного глубоководного Черноморского бассейна. В пределах Западно- и Восточно-Черноморской впадин континентальная кора подверглась океанизации (эклогитизации?);

8) в настоящее время большинство геологов рассматривают Черное море как задуговой бассейн, образованный в тылу Понтийской островной дуги вследствие начала рифтогенеза в позднем мелу. Подобные представления можно найти в ряде работ отечественных и зарубежных авторов [Адамия и др., 1974; Zonenshain, Le Pichon, 1986; Строение и эволюция..., 1992; Kazmin, 1997; Kazmin et al., 2000; Bocaletti, Guazzone, 1974; Letouzey et al., 1977; Okay et al., 1994; Robinson et al., 1995, 1996].

Геологическое изучение отложений Горного Крыма показало [Милеев и др., 2009], что это позд-

некиммерийское складчато-покровное сооружение, переработанное на альпийском этапе дейтероорогенными блоковыми движениями. Надвиги формировались при субдукции коры Таврического бассейна под Скифию.

Черное море традиционно разделяют на три своеобразные в тектоническом отношении части — Западную, Центральную и Восточную (рис. 1). Западная часть включает Западно-Черноморскую впадину, Скифскую и Мизийскую плиты. Центральная часть представлена валами Андрусова и Архангельского и прогибом Сорокина. Восточно-Черноморская впадина, вал Шатского и Туапсинский прогиб расположены в Восточной части Черного моря. Профили ГСЗ 17, 18, 28, помимо Черного моря, пересекают Горный Крым и Азовское море, включая Индоло-Кубанский прогиб и Азовский вал в пределах Скифской плиты.

Методика работ. При сейсмических работах применялась обычная методика передвижного пункта взрывов и неподвижных регистрирующих станций. При этой методике детальность исследований в целом определяется числом пунктов регистрации. Пункты регистрации располагали через 25–50 км, взрывы производили с шагом 5–0 км. Годографы, зарегистрированные по профилю 17 и его продолжению на сушу, изображены на рис. 2.

В результате интерпретации данных, проведенной в 70-е гг. прошлого века, построены сейсмогеологические разрезы, дана скоростная и общая характеристика основных слоев земной коры.

При построении разрезов, приведенных в работах [Гончаров и др., 1972; Строение западной части..., 1972; Земная кора..., 1975], предполагалось, что зарегистрированные в первых вступлениях волны являются головными. Построение велось методом полей

времен с использованием значений средней скорости. Среду рассматривали как горизонтально-слоистую с мощными субгоризонтальными слоями и постоянной скоростью в пределах одного слоя. При такой модели среды с использованием головных волн невозможно получить внутреннюю структуру слоев разреза, распределение градиента скорости в слоях, границы раздела со значительным наклоном (более 15°). Резкое изменение разреза по латерали изображалось сменой структурного блока. При построении разрезов во многом сказывался субъективный подход интерпретатора, поскольку идентификация и отождествление волн от одной границы раздела на годографах из разных пунктов взрыва проводили вручную.

Методика новой интерпретации. Для новой интерпретации данных использован метод однородных функций, который в настоящее время применяется как для интерпретации данных инженерной сейсмо-разведки, так и данных региональных исследований на преломленных волнах. В основе метода лежит локальная аппроксимация реального скоростного распределения однородными функциями двух координат [Пийп, 1991; Piip, 2001].

Интерпретация методом однородных функций — автоматическая процедура. Никакая начальная модель, т.е. априорные представления о строении разреза, не требуется. Идентификация волн, связанных с различными границами, на годографах из разных источников выполняется также автоматически.

Для интерпретации используется программный пакет ГОДОГРАФ, предназначенный для обращения систем годографов преломленных волн (первых вступлений) произвольного вида. При этом осуществляется автоматическое построение сейсмических разрезов с учетом рельефа, скоростных горизонтальных карт-срезов для любого горизонтального уровня в пределах глубины площадных исследований.

На некоторых профилях ГСЗ в районе Черного моря получена недостаточно детальная система наблюдений, так как источники были расположены по профилю неравномерно, поэтому при новой обработке использована интерполяция системы годографов для вычисления годографов из дополнительных источников. При этом предполагается, что сейсмическая среда между источниками по латерали изменяется линейно.

Разрезы, полученные методом однородных функций, представляют собой разрезы, для которых скорость вычислена в узлах прямоугольной сетки — грид-модели. Такие разрезы можно представить в виде поверхностей или разрезов с освещенным рельефом. Это очень удобно для визуализации границ раздела на разрезах. При этом выделяются границы 1 и 2-го рода, инверсионные границы раздела и тектонические нарушения. Границы 1-го рода — границы, на которых сверху вниз увеличение скорости происходит скачком. Такие границы выделяются на разрезе с оттененным рельефом в виде светлых линий. Границы, где скорость

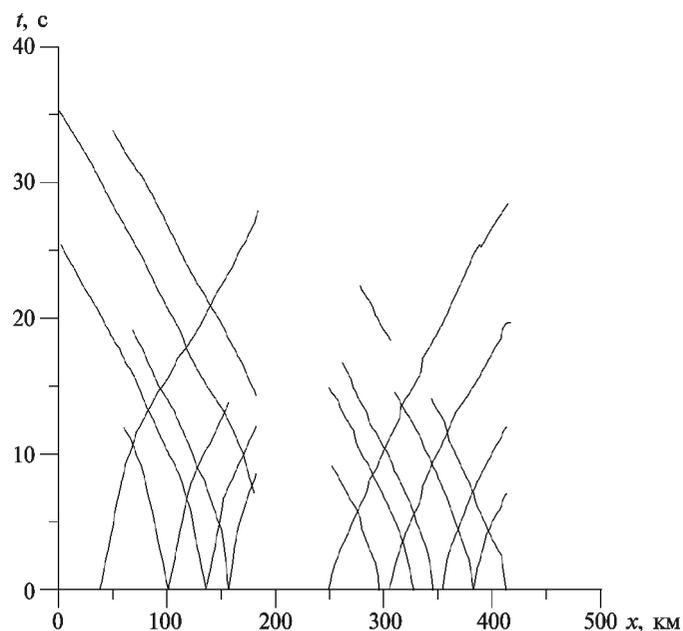


Рис. 2. Наблюдаемые годографы первых вступлений преломленных волн по профилю 17

уменьшается скачкообразно (инверсионные границы), выделяются темными линиями. Границы 2-го рода — границы, на которых происходит резкое изменение градиента скорости. Увеличение градиента скорости выражается на разрезах с оттененным рельефом в виде светлых областей, а уменьшение градиента — соответственно в виде темных областей. Границы раздела, как правило, проходят согласно с изолиниями скорости. Разломы же пересекают их и представлены на разрезах с оттененным рельефом в виде светлых или темных линий в зависимости от наклона. Отметим, что для более удобной визуализации сейсмические разрезы часто представляют с искаженным масштабом, при этом углы падения разломов оказываются визуально завышенными.

Разрез с освещенным рельефом обычно совмещается со скоростным разрезом, чтобы проследить, как скорость изменяется внутри слоев. Скоростной разрез при совмещении прозрачный. Геологическая интерпретация скоростных разрезов и глубинных карт-срезов проводится непосредственно интерпретатором путем отождествления границ 1 и 2-го рода с геологическими границами и с привлечением геологической и геофизической информации, полученной другими методами.

Глубинное строение вала Андрусова. Наиболее полно рифтовая структура, приуроченная к валу Андрусова, отобразилась на разрезах по профилям 28–29, 17, 19–10 и 18, пересекающих эту структуру. Этих профили характеризуются достаточно представительной системой наблюдений. Наблюдаемые годографы по профилю 17 изображены на рис. 2. Длина годографов достигает 200 км.

На построенных нами разрезах в пределах субокеанической коры выделены: осадочный слой I

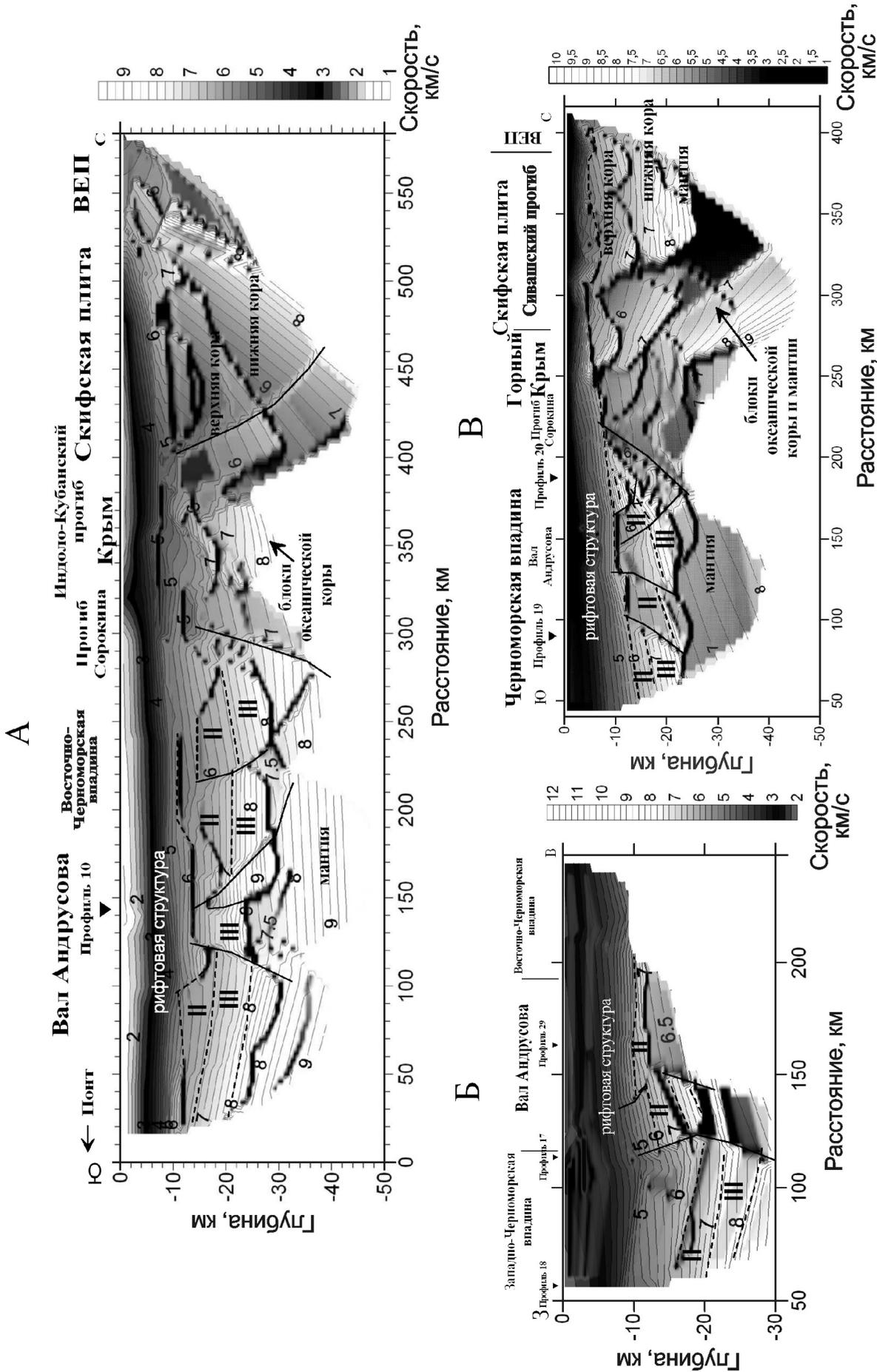


Рис. 3. Сейсмогеологические разрезы по профилям, пересекающим вал Андрусова: А — разрез по профилю 28–29; Б — разрез по профилю 19–10; В — разрез по профилю 17. Сплошные линии — тектонические нарушения, пунктирные — границы слоев. Сечение изолиний скорости — 0,25 км/с

(скорость с глубиной увеличивается от 2 до 6 км/с, высокий градиент), слой II (скорость возрастает от 6 до 7 км/с) и слой III (скорость с глубиной возрастает от 7 до 8 км).

Глубина подошвы осадочного слоя в районе вала Андрусова составляет в среднем 9,5 км, увеличиваясь до 12–15 км в котловине Черного моря и сокращаясь до 2 км и более у берегов Крыма. Внутри осадочного слоя, который представлен на профилях выдержанными слабонаклонными слоями, выделяются сейсмические разделы вблизи скоростных уровней 4 и 5 км/с. Мощность консолидированной коры в районе вала Андрусова (слои II + III) составляет около 10 км.

Рифтовая структура на всех трех разрезах (рис. 3) выделяется четко и имеет классический вид. В центральной части рифтовой структуры существует поднятие мантии с аномально низкой скоростью (7–7,5 км/с) и амплитудой 5–10 км до глубины 20–23 км. Наклонно расположенные по сторонам от оси рифта разломы ограничивают блоки коры, приподнятые и раздвинутые в стороны от осевого поднятия аномальной мантии. Приподнятая или опущенная в районе осевой мантийной аномалии кровля слоя II резко выделяется в скоростном поле. Всюду в периферийных частях рифтовой структуры слой III подстилают очень высокоскоростные (до 9 км/с) и высокоградиентные слои (океаническая мантия?). Резкая инверсионная граница на глубине 23–25 км отделяет бортовые части рифта от нормальной мантии, где скорость возрастает с глубиной от 8 км/с с градиентом около 0,125 с⁻¹.

На профиле 19–10 (рис. 3, Б) вследствие того, что в западной части профиля зарегистрированы недостаточно длинные годографы, отображена только западная половина рифтовой структуры.

В северных частях разрезов параллельных профилей 17 и 28–29 (рис. 3, А, В) на пикетах (пк) 200–250 км и 300–320 км соответственно выделяется

прогиб Сорокина, расположенный в районе сочленения моря и суши. Скорость внутри прогиба медленно возрастает и достигает 7 км/с на глубине 25 км. Далее на север в районе Горного Крыма на профиле 17 (рис. 3, В) и в районе Керченского полуострова на профиле 28–29 (рис. 3, А) прослеживаются блоки (слой III и мантия) океанической коры, выделяемые по характерным значениям скорости, градиента скорости и мощности. На разрезе профиля 17 эти слои резко (под углами 30–40°) погружаются в направлении Крыма и Скифской плиты. Эти структуры можно рассматривать как некоторое подтверждение существования субдукции (палеосубдукции) черноморской литосферы под Крым, учитывая возможное очень сложное строение рассматриваемого региона.

В районе Скифской плиты на разрезе профиля 17 (рис. 3, В) на пк 320–400 км получены субгоризонтальные слои утоненной континентальной коры. Здесь мощность осадков составляет около 5 км. Мощность верхней коры колеблется от 5 до 10 км, нижняя кора мощностью до 10 км на глубине 20–22 км подстилается мантией со скоростью, которая возрастает с глубиной от 8 до 9 км/с.

Профиль 28–29 (рис. 3, А) в северной части пересекает Азовское море (Скифская плита), обладающее аномально мощной (до 40 км) двухслойной корой. Мощность коры резко убывает в сторону Восточно-Европейской платформы. Нижняя кора в верхней части при этом обладает аномально низкой скоростью — 6 км/с. Мощность осадочных образований составляет около 5 км [Ермаков, 2005].

Западно-Черноморская впадина. Разрез по профилю 25 (длина профиля 495 км) (рис. 4) характеризует строение Западно-Черноморской впадины [Джаниашвили и др., 2005].

Профиль начинается у мыса Кефкен (Турция), пересекает глубоководную Западно-Черноморскую впадину, Каркинитский грабен в пределах Скифской

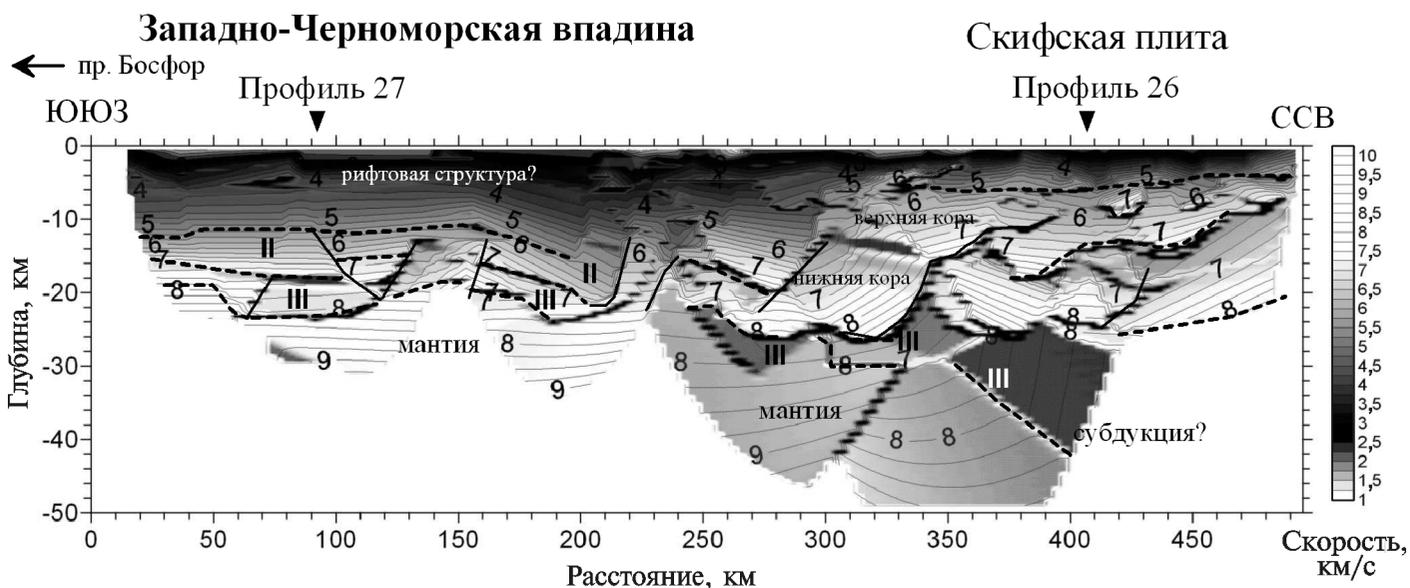


Рис. 4. Сейсмогеологический разрез по профилю 25. Сечение изополей скорости $-0,25$ км/с. Условные обозначения см. на рис. 3

плиты и заканчивается около г. Херсон на границе с Восточно-Европейской платформой в пределах северо-западного шельфа Черного моря. Для построения разреза по профилю 25 использованы все годографы из 20 регистрирующих станций, максимальная длина годографов достигает 200 км.

По строению южная (с океаническим типом коры) и северная (с континентальным типом коры) части существенно отличаются.

Южная часть разреза в пределах Западно-Черноморской впадины характеризуется субгоризонтальным залеганием слоев. На разрезе выделяются хорошо выраженная осадочная толща (слои I, II, III), граница Мохо и верхняя мантия. Глубина подошвы осадочного слоя на южном участке разреза составляет 11 км, затем осадочный слой начинает погружаться в северном направлении, достигая глубины 12 км. Скорость внутри следующего слоя II увеличивается с глубиной от 6 до 7 км/с. Мощность слоя 6–9 км. Кровля слоя III проведена по границе раздела вблизи скоростного уровня 7 км/с. Мощность слоя незначительна и составляет не более 4 км, что характерно для океанической коры. Этот слой подстилает нормальная мантия со скоростью, увеличивающейся с глубиной от 8 до 9 км/с на глубине 30 км. Граница Мохо выделяется четко.

В районе пк 150 км выделяется сложная структура, верхняя часть разреза которой имеет форму поднятия или вала. Кровля слоя III на этом участке разбита разломами и не прослеживается. Разломы имеют южное падение под углом около 25°. Под этой структурой наблюдается аномальная мантия с низкой скоростью (около 7 км/с). В целом структура имеет черты рифта. Эта структура — глубинное отображение поднятия Полшкова, которое находится на запад от профиля. В зоне сочленения коры Черного моря с корой Скифской плиты (пк 160–290 км) все три слоя (I, II, III) плавно погружаются в северном направлении и вблизи пк 200 км деформируются и разбиваются на отдельные блоки разломами как северного, так и южного падения (углы падения около 30–45°). Осадочные отложения в этой зоне также деформированы и погружены на глубину до 14 км, возможно, это результат аккреции. Далее на север слой III ступенчато погружается в северном направлении до глубины 40 км на пк 400 км под структуры Скифской плиты. Здесь мантия в верхней части обладает низкой скоростью (<8 км/с). По положению слоев субокеанической коры и верхней мантии область сочленения коры Черного моря и коры Скифской плиты можно рассматривать в качестве зоны субдукции (возможно, палеосубдукции или псевдосубдукции).

Северная часть разреза (Скифская плита) представлена утоненной континентальной корой. Здесь выделены осадочный слой, верхняя и нижняя кора, граница Мохо. Кора Скифской плиты имеет складчатое строение.

Осадочный слой континентальной коры Скифской плиты по сравнению с мощностью осадочных образований в Черном море маломощный (<5 км). Верхняя кора (вблизи кровли скорость 5 км/с) и нижняя кора (скорость от 6,5 до 8 км/с) образуют складки и покровы [Ермаков, 2005].

Положение выявленных тектонических структур в плане. Технология построения разрезов методом однородных функций позволяет строить горизонтальные скоростные срезы на площади исследования по результатам площадных работ. Такие карты визуализируются так же как и разрезы и дают возможность видеть положение структур в плане.

Скоростная горизонтальная карта-срез на глубине 23 км проходит на уровне границы Мохо — кровли верхней мантии. На карте (рис. 5), которая представляет собой скоростное поле на уровне 23 км, совмещенное с картой рельефа скоростной поверхности, четко отображены рифтовые структуры в районе вала Андрусова. Визуально видимые на карте поднятия — это высокоскоростные борта рифтовых структур, впадины — положение низкоскоростных мантийных аномалий, которые послужили причиной возникновения рифтов. На протяжении вала Андрусова выявлено три примерно одинаковые по простиранию рифтовые структуры северо-восточного направления.

В западной части моря на карте видны структуры, относящиеся к зоне субдукции северо-западного простирания. В центральной части Западно-Черноморской впадины в верхах мантии прослеживается низкоскоростная аномалия (скорость <7 км/с), возможно, мантийный диапир.

Достоверность скоростных разрезов изучена путем решения прямой задачи. Полученные оценки соответствуют современным требованиям к точности построений [Ермаков, 2005; Джаниашвили и др., 2005].

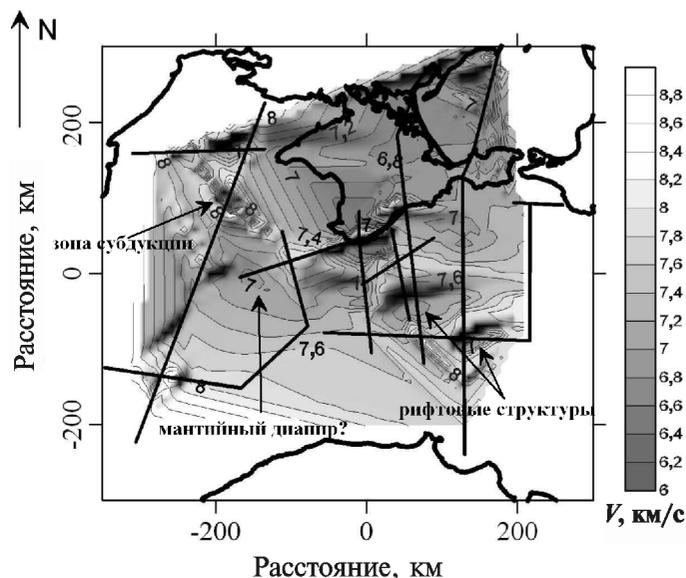


Рис. 5. Скоростная карта-срез на глубине 23 км. Сечение изолиний скорости — 0,2 км/с. Профили ГСЗ — черные сплошные линии

Один из критериев оценки достоверности полученных сейсмических разрезов — степень совпадения скоростных кривых в точках пересечения профилей (увязка профилей), так как все сейсмические разрезы получены независимо. На всех графиках в точках пересечения профилей кривые изменения скорости с глубиной в целом совпадают удовлетворительно. Среднее отклонение скоростных кривых составляет 0,2 км/с.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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, 78–94.

Адамия Ш.А., Закариадзе Г.С., Лордкипанидзе М.Б. Эволюция древней активной континентальной окраины на примере Кавказа // Геотектоника. 1974. № 4. С. 88–103.

Андрусов Н.И. О состоянии бассейна Черного моря в плиоценовую эпоху // Melang. geol. et paleontol. 1893. Vol. 1. P. 165–178.

Артюшков Е.В. Физическая тектоника. М.: Наука, 1993.

Артюшков Е.В., Шлезингер А.Е., Янишин А.Л. Механизм образования глубоководных бассейнов Средиземноморского пояса. М.: Наука, 1980. С. 10–21.

Архангельский А.Д., Страхов Н.М. Геологическое строение и история развития Черного моря. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1938. С. 45, 200.

Белоусов В.В. Основные вопросы геотектоники. М.: Госгеолтехиздат, 1962.

Гежельяни А.А., Гальперин Н.Н., Косминская И.П., Кравшина Р.М. Структура земной коры центральной части Каспийского моря по данным ГСЗ // Докл. АН СССР. 1958. Т. 123 (2). С. 520–522.

Гончаров В.П., Непрочнов Ю.П., Непрочнова А.Ф. Рельеф дна и глубинное строение Черноморской впадины. М.: Наука, 1972. С. 5, 51–60, 91, 131–136.

Джаниашивили А.М., Ермаков А.П., Пийп В.Б. Строение литосферы Западно-Черноморской впадины по результатам интерпретации данных ГСЗ // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2005. № 1. С. 32–38.

Добрынин Б.Ф. К геоморфологии Крыма // Землеведение. 1922. Кн. 1/2. С. 78–92.

Ермаков А.П. Глубинное строение Черноморской впадины по результатам новой интерпретации сейсмических данных: Автореф. канд. дисс. М., 2005.

Земная кора и история развития Черноморской впадины. М.: Наука, 1975. С. 191.

Кропоткин П.Н. Механизм движения земной коры // Геотектоника. 1967. № 5. С. 25–40.

Личков Б.Л. К последним страницам геологической истории Черного моря // Проблемы сов. геологии. 1933. Т. 1, № 2. С. 15–28.

Милановский Е.Е. Современная структура Кавказа и прилегающих глубоководных впадин как отражение стадий эволюций земной коры в альпийской геосинклинальной области // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 1963. № 1. С. 48–58.

Милеев В.С., Барбошкин Е.Ю., Розанов С.Б., Рогов М.А. Тектоника и геодинамическая эволюция Горного Крыма // Бюл. МОИП. Отд. геол. 2009. Т. 84, вып. 33. С. 3–22.

Заключение. На основании новой обработки сейсмических данных ГСЗ, полученных в 60-е гг. прошлого века, автоматически, без каких-либо априорных предположений о строении среды, на разрезах и в плане получены изображения и количественные характеристики серии рифтовых структур в районе вала Андрусова и элементов зоны субдукции Черноморской литосферы под Скифскую плиту и Горный Крым.

Муратов М.В. История тектонического развития глубокой впадины Черного моря и ее возможное происхождение. // Бюл. МОИП. Отд. геол. 1955. Т. 30, вып. 5. С. 27–50.

Муратов М.В. История формирования глубоководной котловины Черного моря в сравнении с впадинами Средиземного // Геотектоника. 1972. № 5. С. 22–30.

Муратов М.В. Тектоника и история развития Альпийской геосинклинальной области юга европейской части СССР и сопредельных стран. // Тектоника СССР. Т. 2. М.: Изд-во АН СССР, 1949.

Наливкин Д.В. Палеогеография Средней Азии в палеозое // Тр. III Всесоюз. съезда геологов. Ташкент, 1928. С. 111–114.

Непрочнов Ю.П. Глубинная структура земной коры Черного моря по сейсмическим данным // Бюл. МОИП. Отд. Геол. 1966. Вып. 4. С. 11–39.

Обручев В.А. Новые течения в геотектонике // Изв. Геол. комиссии. 1926. Т. 45, № 3. С. 117–140.

Освальд Ф.Ф. К истории тектонического развития Армянского нагорья // Зап. Кавк. отд. Рус. геогр. об-ва. Тифлис. 1915. Т. 29, вып. 2.

Пийп В.Б. Локальная реконструкция сейсмического разреза по данным преломленных волн на основе однородных функций // Физика Земли. 1991. № 10. С. 24–32.

Сорохтин О.Г. Глобальная эволюция Земли. М.: Наука, 1974. 184 с.

Сорский А.А. О соотношении глубинного и поверхностного строения Большого Кавказа // Сов. геология. 1962. № 1. С. 54–66.

Строение западной части Черноморской впадины. М.: Наука, 1972.

Строение и эволюция земной коры Черного моря / Под ред. В.В. Белоусова, Б.С. Вольвовского. М.: Наука, 1992. С. 22–26, 208.

Субботин С.И., Наумчик Г.Л., Рахимова И.Ш. Мантия Земли и тектоногенез. Киев: Наукова думка, 1964.

Сулиди-Кондратьев Е.Д., Козлов В.В. Деструкция земной коры в зоне сочленения Африкано-Аравийского континента и Средиземноморского складчатого пояса // Тектоника Средиземноморского пояса. М.: Наука, 1980. С. 40–49.

Шлезингер А.В. Структура осадочного чехла Черноморского бассейна // Проблемы тектоники земной коры. М.: Наука, 1981. С. 237–262.

Янишин А.Л. Проблема срединных массивов // Бюл. МОИП. Отд. геол. 1965. Вып. 5.

Янишин А.Л., Басеняц Ш.А., Пилипенко А.И., Шлезингер А.Е. Новые данные о времени образования глубоководной Черноморской впадины // Докл. АН СССР. 1980. Т. 252, № 1. С. 223–227.

Belousov V.V., Volvovsky B.S., Arhipov I.V. et al. Structure and evolution of the Earth's crust and upper mantle of the Black Sea. // *Bollet. di Geofisica Teorica ed Applicata*. 1988. Vol. XXX. P. 197–324.

Bocchetti M., Guazzone G. Remnant arc and marginal basin in the Cainozoic development of the Mediterranean // *Nature*. 1974. Vol. 252. P. 18–21.

Dewey J.F., Pitman W.C., Ryan W.B.F., Bonin J. Plate tectonics and the evolution of the Alpine system // *Geol. Soc. Bull.* 1973. Vol. 84. P. 3137–3180.

Finetti I., Bricchi G., DelBen A. Geophysical study of the Black Sea area // *Boll. Geofis. Teor. Appl.* 30. 1988. N 117–118. P. 197–324.

Kazmin V. Mesozoic to Cenozoic history of the back-arc basins in the Black Sea-Caucasus region // *CASP Rep.* 1997. N 656. P. 41.

Kazmin V., Schreider A., Bulychev A. Early stages of evolution of the Black sea. In: *Tectonics and magmatism in Turkey and the surrounding area* // *J. Geol. Soc. Lond. Spec. Publ.* 2000. Vol. 173. P. 235–249.

Letouzey J., Bijou-Duval B., Dorkel A. et al. The Black Sea: a marginal basin according to geophysical and geological data. // *Inter. Symp. Struct. Hist. Medit. Basins. Split (Yugoslaviya)* 25–29 Oct. 1977. P. 367–376.

Okay A.I., Sengor A.M.C., Gorur N. Kinematic history of the opening of the Black Sea and its effect on the surrounding regions // *Geology*. 1994. Vol. 22. P. 267–270.

Piip V.B. 2D inversion of refraction traveltime curves using homogeneous functions // *Geophys. Prosp.* 2001. Vol. 49. P. 461–482.

Robinson A.G., Banks C.J., Rutherford M.M. Stratigraphic and structural development of the Eastern Pontides, Turkey // *J. Geol. Soc. Lond.* 1995. Vol. 152. P. 861–872.

Robinson A.G., Rudat J.H., Banks C.J., Wiles R.L. Petroleum geology of the Black Sea // *Marine and Petrol. Geol.* 1996. Vol. 25. P. 305–312.

Zonenshain L.P., Le Pichon X. Deep basins of the Black Sea as remnants of Mesozoic back-arc basins // *Tectonophysics*. 1986. Vol. 123. P. 181–211.

Поступила в редакцию
29.09.2010