

УДК 551.243(262.5)

ВОЛЬВОВСКИЙ Б. С., ВОЛЬВОВСКИЙ И. С., ИСМАГИЛОВ Д. Ф.,
КОГАН Л. И., МОСКАЛЕНКО В. Н., ШЛЕЗИНГЕР А. Е.СТРУКТУРА ОСНОВАНИЯ ЧЕРНОМОРСКОГО
ГЛУБОКОВОДНОГО БАССЕЙНА*80-летию выдающегося советского
геолога Владимира Владимировича
Белоусова посвящается*

В статье рассматриваются новые результаты региональных сейсмических исследований МОГТ в Черном море. На основании сопоставления временных разрезов МОГТ и ГСЗ и их совместной интерпретации составлены схемы строения основания и поверхности консолидированной коры глубоководного Черноморского бассейна.

В последние годы в центральной глубоководной части Черного моря проведено более 150 региональных профилей МОГТ [8]. Наибольшая глубинность освещения строения земной коры достигнута на профилях НИС «Профессор Штокман» [6] и итальянской экспедиции на НИС «Марсили». Вместе с проведенными ранее профилями ГСЗ [4] они составляют надежную основу для изучения структуры и возможного вещественного состава основания Черноморской впадины.

Преломленные волны, связываемые с поверхностью консолидированной коры, занимают на годографах КМПВ и ГСЗ наибольший по протяженности и длительности записи интервал регистрации. По кинематическим и динамическим параметрам они подразделяются на две группы. Первая, характеризующая строение поверхности «гранитного» слоя ($V^* = 5,2-6,5$ км/с, $f = 5-7$ Гц, $\alpha_{эф} = (2-16) \cdot 10^{-5}$ м⁻¹), выделена по периферии Черного моря и на Центрально-Черноморском поднятии. Вторая, связанная с поверхностью «базальтов» ($V^* = 5,8-7,6$ км/с, $f = 4-6$ Гц, $\alpha_{эф} = (2,3-10) \cdot 10^{-5}$ м⁻¹), зарегистрирована в основном во внутренних районах моря [4]. Поле отраженных волн на профилях МОГТ во внутренних районах Черного моря характеризуется наличием многочисленных весьма протяженных регулярных колебаний примерно одинаковой интенсивности и выразительности на глубинах до 15—20 км (до 10—14 с), что указывает на частое переслаивание литологически неоднородных образований, обладающих устойчивостью литологического состава отдельных пачек или пластов на значительной площади. Характерной особенностью записей отраженных волн является также их отчетливая краткая повторяемость. Однако опорные отражения хорошо прослеживаются и коррелируются на протяжении десятков и сотен километров [8].

Выделенная глубокая отражающая граница H фиксируется практически повсеместно (по огибающей криволинейных осей синфазности дифрагированных волн и по элементам прислонения к ней вышележащих отражающих границ). Отражения от границы H обладают всеми свойствами, присущими волновым полям, полученным при отражении от дундационной поверхности: многофазностью записи, наличием дифрагированных волн, обусловленных широковатостью границы, разрывами корреляции и т. д. Выделение и корреляция отражений H сделаны достаточно надежно благодаря специфической относительно низкочастотной (10—15 Гц) их записи и несогласному с ними прослеживанию вышележащих отражений. Ниже границы H сейсмическая запись весьма хаотична. Однако на отдельных участках на больших глубинах (до 13 с) регистрируются сравнительно протяженные пологие и крутонаклонные

оси синфазности, скоростной анализ которых указывает на их связь с реальными отражениями. Так, в Западно-Черноморской впадине на небольших участках профиля ШТ-5 в интервале 11—13 с намечаются отдельные фрагменты отражающих границ. Они свидетельствуют о дислоцированности и повышенной уплотненности пород, залегающих ниже (до 2 с) отражающей границы *H*. Выше границы *H* практически повсеместно в пределах Западно-Черноморской и Восточно-Черноморской впадин выделяются и непрерывно прослеживаются отражения от горизонтов III и II. На основе увязки с временными сейсмическими разрезами в Нижнекамчийском прогибе и с шельфовыми и береговыми скважинами констатируется, что они фиксируют мощный (5—6 км) комплекс эоцен-палеоценовых и, возможно, верхнемеловых отложений [3, 7, 8]. Эти осадочные горизонты являются одними из наиболее акустически сильных отражающих границ и по характеру сейсмической записи легко опознаются во всей внутренней акватории Черного моря [8].

Строение основания (консолидированной коры) в центральных частях Черноморского бассейна по-прежнему в основном строится на данных ГСЗ [4]. Однако благодаря исследованиям МОГТ появилась возможность определить более надежно и с большей точностью пластовые (интервальные) скорости распространения сейсмических волн в низах осадочного разреза, с большей детальностью изучить структуру основания и уточнить ее пространственное положение. В этих целях проведено сопоставление материалов МОГТ и ГСЗ по ряду совмещенных и пересекающихся профилей.

Наиболее простой способ сопоставления состоял в следующем: по материалам МОГТ и ГСЗ определялся согласованный скоростной разрез, по его параметрам рассчитывался временной разрез для отраженных волн и сопоставлялся с реальным разрезом МОГТ. Это достаточно жесткий критерий сопоставления при условии однородности обособленных преломляющими границами комплексов пород ($V_r = V_{пл} = V^*$), т. е. когда вариации деления волн по значениям кажущихся скоростей ограничены, и это можно проконтролировать по совокупности годографов первых вступлений. В этом случае оптимальное решение, связанное с минимумом расхождения реальных и расчетных временных разрезов, находится однозначно. При существенно неоднородной реальной среде, какой является разрез Черного моря, и резко негоризонтальном рельефе границ вариации кажущихся скоростей на годографах преломленных волн оказались незакономерно изменчивыми. В этих условиях для сопоставления разрезов МОГТ и ГСЗ пришлось воспользоваться способом пересчета T_0 (время прохождения волны) (КМПВ) в T_0 (МОВ) для каждого пункта регистрации (пункта взрыва), т. е. проводить сопоставление на временном уровне, свободном от искажающих влияний, вызванных неоднородностями строения среды.

Величины T_0 в МОВ и КМПВ связаны между собой соотношением: $T_0(\text{МОВ}) = K \cdot T_0(\text{КМПВ})$, где $K = 1/\cos i = 1/\cos(\arcsin \bar{V}/V_r) = 1/[1 - (V/V_r)^2]^{1/2}$, т. е. точность пересчета $T_0(\text{КМПВ})$ в $T_0(\text{МОВ})$ зависит в основном от погрешности вычисления коэффициента K . Она более высокая для границ с большими значениями граничной скорости (V_r) и малыми значениями средней скорости (\bar{V}). Для глубоких горизонтов осадочного чехла и поверхности консолидированной коры Черного моря погрешность глубины их залегания оценивается в 6—10%. Анализ скоростных разрезов МОГТ показывает [8], что точность определения исходных величин средней скорости до поверхности консолидированной коры в центральных районах Черного моря составляет $\pm 0,15$ км/с (рис. 1). Средняя скорость в консолидированной коре по материалам ГСЗ определяется с точностью $\pm 0,25$ км/с [4]. Практически с такой же точностью ($\pm 0,2$ км/с) определяется значение граничной скорости. Учитывая, что положение временных границ в консолидированной коре на разрезах ГСЗ оценивается с погрешностью $\pm 0,5$ с [4], точность вычисления коэффициента K была принята равной $\pm 0,2$ км/с. Для пересчета были использованы средние скорости, полученные по данным МОГТ, и

границные скорости, снятые с опубликованных разрезов ГСЗ [2]. Величина K определялась для каждого годографа преломленных волн, при этом величины средних скоростей для конкретных значений граничных скоростей несколько различались в зависимости от глубины залегания границы и характера покрывающих отложений. Результаты сопоставления приведены на рис. 2. Видно, что поверхность консолидированной коры в центральной части Черного моря, отождествляемая на разрезах ГСЗ с преломляющей границей со скоростями $V_r = 6,6-6,8$ км/с, залегает значительно глубже (временной интервал 11,0—11,5 с) отражающих горизонтов II и III (с временными интервалами 7—9 и 8—10 с соответственно). Отражающая граница II, отвечающая поверхности регионального несогласия, в западной части Центрально-Черноморского поднятия погружается под отражающие горизонты II и III и прослеживается до глубины временного интервала 10—10,5 с, где, по данным ГСЗ, располагается поверхность консолидированной коры с $V_r = 5,6-6,0$ км/с. На приведенном временном разрезе по профилю ШТ-5 (см. рис. 2, а), особенно на западных его пикетах, на больших глубинах (до 11,5—13,0 с) выделяются довольно протяженные (15—25 км) оси синфазности высокой интенсивности, чередующиеся с не менее протяженными участками полного или почти полного отсутствия записи с перекрещивающимися и кулисно сходящимися короткими осями. Визуальный анализ и элементарный расчет указывают на возможное присутствие в этом временном интервале кратных волн, отраженных от морского дна и от сейсмически «сильных» вышележащих горизонтов. При практически горизонтальном расположении отражений на временном разрезе очень трудно отделить возможные полезные записи на этих временных интервалах от кратных волн. И тем не менее, как об этом говорилось выше, есть достаточные основания связывать эти разрозненные оси синфазности с реальной сейсмической границей. В Восточно-Черноморской впадине на профилях ГСЗ-14, 15, 16 [4], расположенных несколько севернее профиля МОГТ BS-1B, выделяется преломляющая граница с $V_r = 6,3$ км/с, отождествляемая с поверхностью консолидированной коры (здесь «гранитного» слоя). Она также сопоставляется с фрагментами отражающей границы II, залегающей здесь на временных интервалах $\sim 9,5$ с.

Приведенные материалы и фрагментарные сопоставления по другим профилям показывают, что кровля консолидированной коры на разрезах ГСЗ и отражающая граница II на разрезах МОГТ в местах их совместного прослеживания в Западно-Черноморской и Восточно-Черноморской впадинах совпадают, представляя собой единую поверхность консолидированной коры.

Таким образом, основание Черноморского глубоководного бассейна определяют отражающая граница II и преломляющая граница с граничными скоростями $V_r = 6,6-6,8$ км/с. По периферии впадин высокоскоростная преломляющая граница и отражающая граница II расходятся. Первая из них, связанная с поверхностью «гранитного» слоя, полого воздымается, на сейсмических разрезах МОГТ она не выделяется. Сейсмическая граница II по периферии Западно-Черноморской и Восточно-Черноморской впадин испытывает более крутой подъем. Она связана здесь с поверхностью, к которой прислоняются вышележащие слои и которая срезает, особенно в верхней части, нижележащие слои осадочного чехла. Комплекс пород, заключенный по периферии Западно-Черноморской и Восточно-Черноморской впадин между высокоскоростной преломляющей границей — кровлей консолидированной коры и отражающей границей II, представляет платформенный (добассейновый) чехол. Его мощность достигает 2—3 км. Кровля платформенного чехла, погружающаяся в сторону впадины и срезанная склоновой подводной эрозией, определяет динамическую выраженность отражающей границы II.

Таким образом, в центральных районах Черноморской впадины отражающая граница II приурочена к днищу и погребенным континентальным палеосклонам глубоководного Черноморского бассейна. За преде-

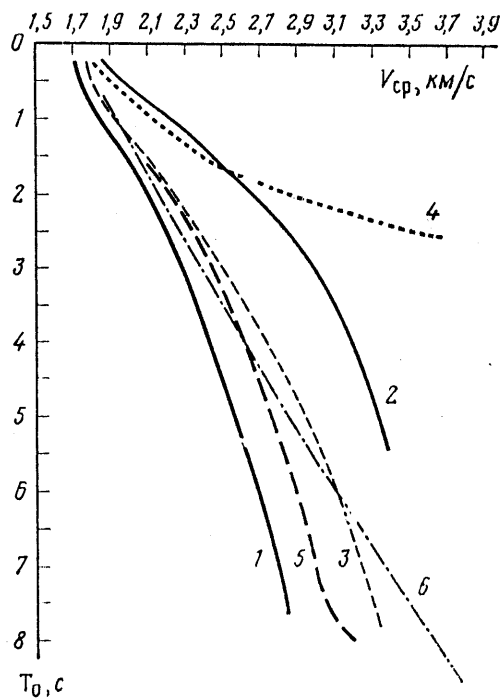


Рис. 1. Зависимости скорости распространения упругих волн от глубины $\bar{V}(T_0)$. Составил И. С. Вольвовский
 1—4 — по данным МОГТ [8]: для Западно-Черноморской впадины (1), для Восточно-Черноморской впадины (2), обобщенная кривая для глубоководных впадин (3), для шельфа (на примере Гудаутско-Очамчирского района) (4); 5 — по профилю МОГТ ШТ-5 для Западно-Черноморской впадины, 6 — по данным ГСЗ для Западно-Черноморской впадины [1]

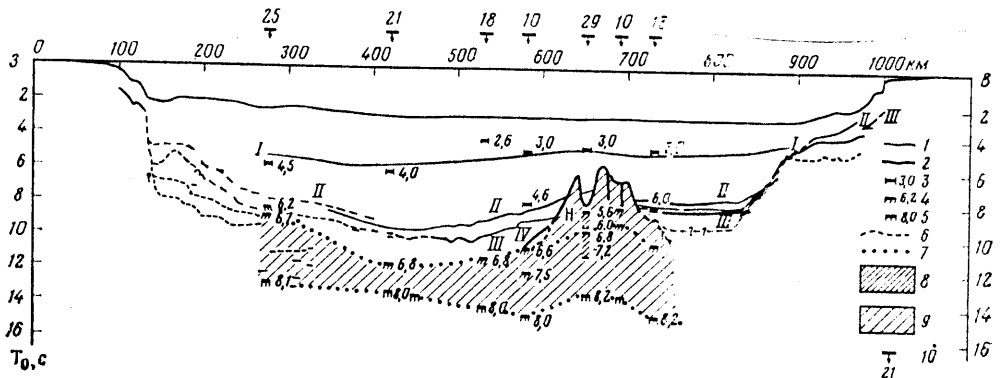


Рис. 2. Сопоставление временных сейсмических разрезов МОГТ и ГСЗ: по профилю ШТ-5. Составил В. Н. Москаленко
 1 — опорные отражающие границы; 2 — отражающая граница II; 3—5 — преломляющие границы: в осадочной толще по данным ГСЗ (3), в консолидированной коре (4) и в верхней части мантии (5); 6 — предполагаемое положение отражающих границ; 7 — предполагаемое положение преломляющих границ; 8 — интервал возможного положения преломляющей границы; 9 — консолидированная кора; 10 — шикеты пересечения с профилями ГСЗ. I, II, III, IV — сейсмические горизонты внутри осадочного чехла

лами допалеогенового палеосклона она переходит на гипсометрическом уровне залегания отражающего горизонта I (кровля олигоцена — миоцена) в согласно лежащие слои осадочного чехла. Аналогичная картина наблюдается и в пределах доплиоценового палеосклона, где сейсмический горизонт H приурочен к относительно крутой, затронутой плоскостным срезом его поверхности. В районах сопряжения допалеогенового и доплиоценового погребенных континентальных палеосклонов отражаю-

щая граница *H* регистрируется на всем их протяжении как единая поверхность, которая непосредственно выходит на дно моря.

Строение Черноморского глубоководного бассейна отражает структурная карта его основания (рис. 3). Она построена по подошве доплиоценовых пород, к которым приурочена отражающая граница *H*. Во внутренних районах бассейна она совпадает с кровлей консолидированной коры, построенной по преломленным волнам. На северной периферии основание глубоководного бассейна определяется подошвой плиоцен-четвертичного комплекса (I опорный отражающий горизонт).

Глубоководный бассейн, вырисовывающийся по этой границе, состоит из двух крупных впадин: Западно-Черноморской и Восточно-Черноморской, разделенных Централью-Черноморским поднятием. Последнее представляет собой субмеридионально ориентированную седловину, протягивающуюся поперек Черного моря от Прикрымской периферии до подводного хребта Архангельского близ побережья Турции. Западно-Черноморская впадина является наиболее глубоко погруженной частью Черноморского бассейна. Ее основание располагается на глубинах до 20 км. Длина Западно-Черноморской впадины по изогипсе 10 км достигает 600 км, ширина — 250 км. Она характеризуется относительно плоским дном и крутыми симметричными бортами и центриклиналими (бортовые отражения по простиранию впадины), где наклон основания равен 350—400 м/км, местами достигая 700—800 м/км. На северной периферии Западно-Черноморской впадины ее основание (здесь подошва доплиоценовых пород) поднимается до —3, —4 км, на юге до —1 км. На крайнем юго-западе далеко в море протягивается складчатое сооружение Восточного Балкана. К северо-востоку от складчатого сооружения Восточного Балкана находится Нижнекамчийский прогиб. Его западная центриклиналь уходит в смежные районы суши. Приподнятая часть южного борта Западно-Черноморской впадины осложнена локальными структурами субширотной ориентировки. Их размеры достигают десятков километров в длину при 10—20 км в ширину. Они оконтурены одной изогипсой, т. е. их амплитуда не выходит за пределы 1 км. На западной периферии по изогипсе 7 км вырисовывается куполовидное поднятие Полшкова.

В пределах Централью-Черноморского поднятия основание Черноморского глубоководного бассейна поднимается до 5—6 км. Длина поднятия достигает 350 км при ширине 70—80 км. В центральной его части намечаются две осложняющие брахиантиклинали, замкнутые по изогипсе 6 км. Централью-Черноморское поднятие по поверхности основания, имеющего уклон до 100—200 м/км, почти симметрично. На севере поднятие в виде структурного носа примыкает к периферийным структурам Юго-Западного Крыма. На юге его с запада кулисно подставляет крупное поднятие подводного хр. Архангельского, также представляющего собой структурный нос, раскрывающийся к югу. В своде последнего основания впадины располагается на глубине 1 км. Между поднятием подводного хр. Архангельского и побережьем Турции располагается Синопский прогиб. Он представляет собой структурный залив, раскрывающийся к северо-западу и непосредственно сливающийся с юго-восточной центриклиналью Западно-Черноморской впадины.

Восточно-Черноморская впадина существенно мельче Западно-Черноморской. Ее основание погружено до 13 км. Протяженность Восточно-Черноморской впадины с северо-запада на юго-восток по изогипсе 8 км составляет 700 км, при максимальной ширине 200 км. В днище впадины намечается несколько изолированных мульд. Юго-восточная центриклиналь Восточно-Черноморской впадины в виде Палеостомского прогиба протягивается на сушу. В целом Восточно-Черноморская впадина характеризуется относительно пологим дном и крутыми симметричными бортами, где наклон основания бассейна достигает 250—300 м/км. Лишь на крайнем юго-востоке крутизна борта увеличивается до 500—600 м/км, и в этом сечении впадина приобретает асимметричное строение. На южной периферии Восточно-Черноморской впадины установлено несколько

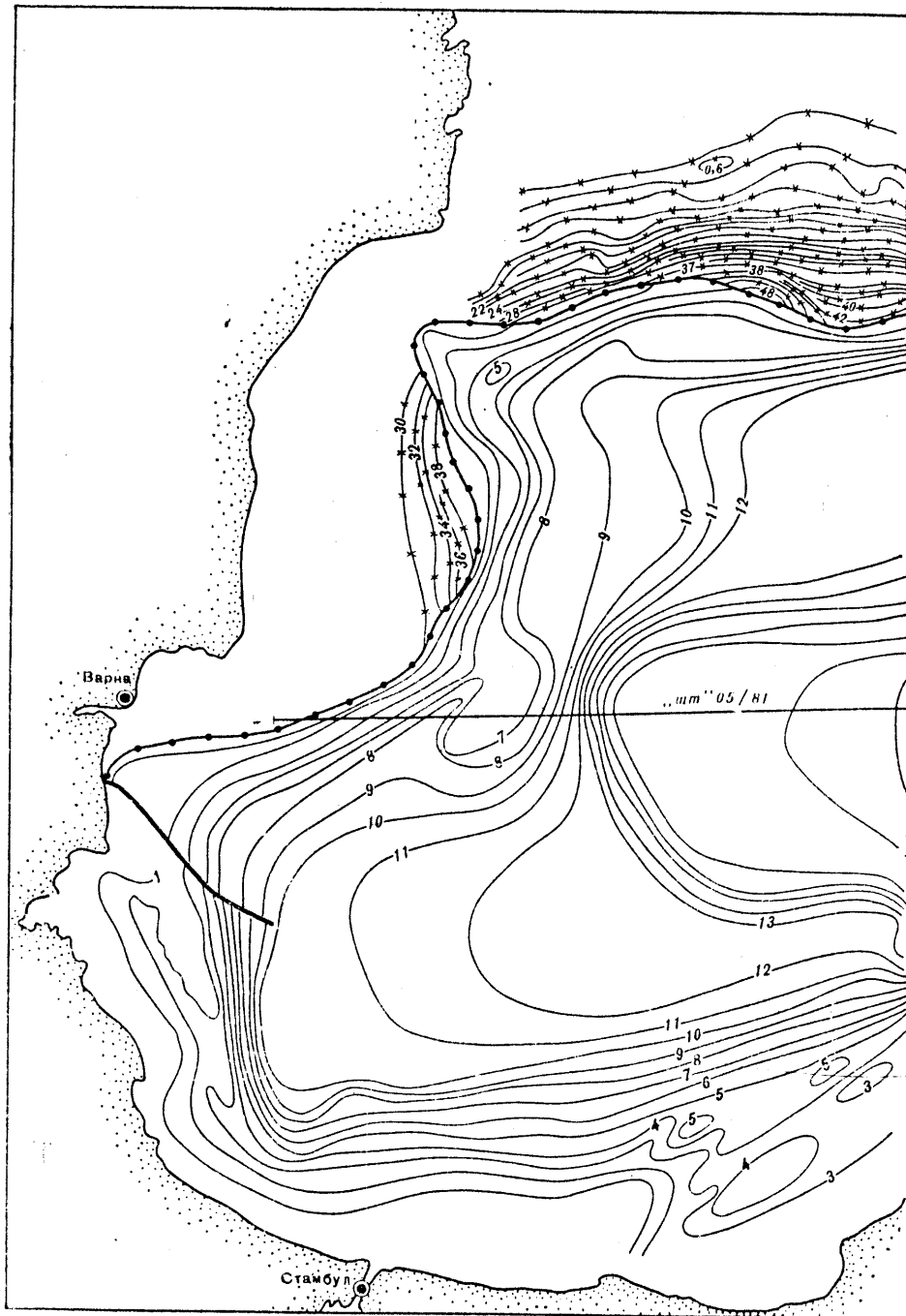


Рис. 3 (I часть)

Рис. 3. Структурная карта основания Черноморского глубоководного бассейна. Составил А. Е. Шлезингер по материалам ПО «Южморгеология», ВМНПО «Союзморгео» и Южного отделения ИО АН СССР им. П. П. Ширшова.
 1 — изогипсы (в км) основания доплиоценового глубоководного бассейна (отражающая граница *H* или преломляющая поверхность консолидированной коры); 2 — изогипсы основания плиоцен-четвертичного глубоководного бассейна, км; 3 — граница перехода отражающего горизонта 1 к отражающей границе *H*; 4 — граница прекращения прослеживания отражающего горизонта 1; 5 — разрывные нарушения; 6 — сейсмические профили

ЛО
Му
X
се
ти
ЮГ
МО
ша
ос

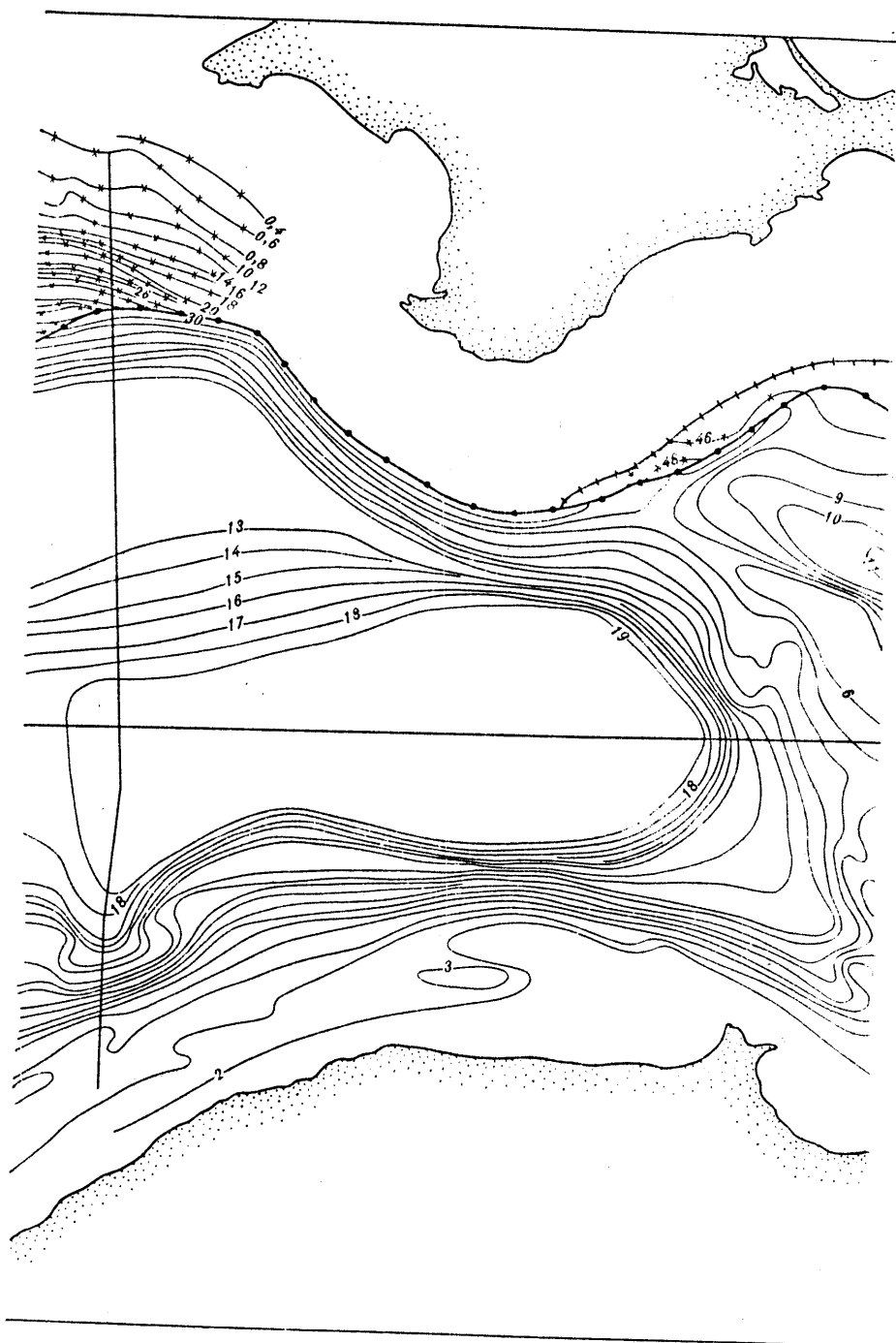


Рис. 3 (II часть)

локальных структур, из которых наиболее крупной является поднятие Муратова. По замкнутой изогипсе 10 км его размеры составляют 40×15 км.

Основание северной периферии Черноморского глубоководного бассейна характеризует I отражающий горизонт (подошва плиоцен-четвертичного комплекса). На северо-западе он моноклиально поднимается с юга на север, от отметки $-4,8$ км и выше до $-0,4$ км. В нижней части моноклинали наклон составляет $100-120$ м/км, а в верхней он уменьшается до 20 м/км. В центральной части северо-восточной периферии основание Восточно-Черноморской впадины залегает очень полого на



Рис. 3 (III часть)

отметках $-4,2$, $-3,8$ км. В районах Керченско-Таманской и Гудаутской акваторий основание впадины моноклинально воздымается с юго-запада на северо-восток соответственно от глубин $-4,4$ — $-4,2$ до $-3,2$ км и от -8 до $-0,4$ км при уклоне 30 — 50 м/км.

Поверхность консолидированной коры впадины Черного моря изучена в основном по материалам ГСЗ, по преломляющей поверхности со скоростями $V_r = 6,6$ — $6,8$ км/с во внутренних ее районах и по преломляющей поверхности с $V_r = 5,6$ — $6,3$ км/с в его шельфовых областях. В северной части Болгарского шельфа глубины залегания поверхности консолидированной коры определены по данным расчетов верхних кромок магнитоактивных масс [5].

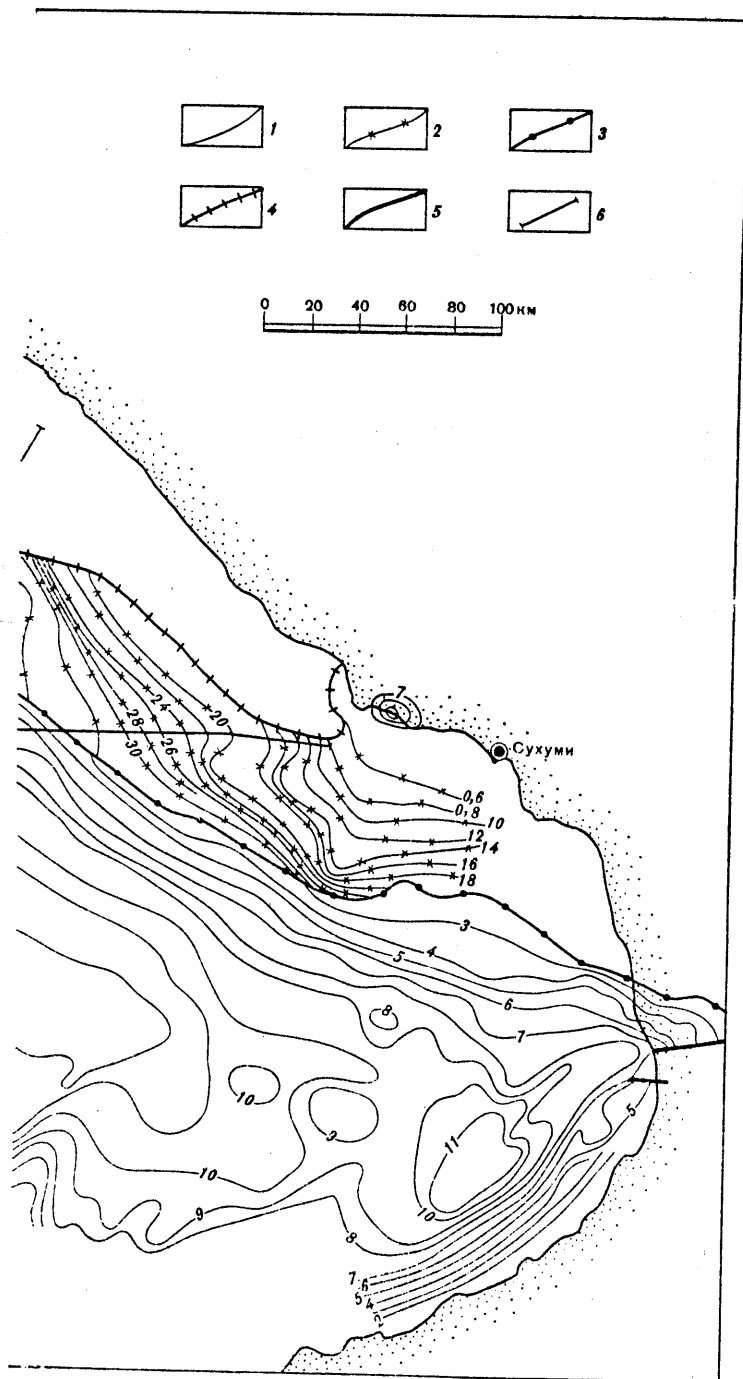


Рис. 3 (IV часть)

Поверхность консолидированной коры в центральных частях Западно-Черноморской и Восточно-Черноморской впадин совпадает с их основанием, где оно погружено соответственно на 20 и 13 км. В пределах Центрально-Черноморского поднятия поверхность консолидированной коры поднимается до отметок —10 км и залегает здесь на 4—6 км глубже основания бассейна. Поднятие не имеет четко выраженных периклиналей и по поверхности консолидированной коры представляет собой седловину. На севере оно сливается со складчатыми сооружениями Горного Крыма, на юге — со складчатыми сооружениями Восточного Понта.

На прикавказской акватории Черного моря по поверхности консолидированной коры выделяется Восточно-Черноморское поднятие. Его свод оконтуривается изогипсой 6 км. К северу поверхность консолидированной коры погружается и в осевой зоне Туапсинского прогиба располагается на глубине —10 км. На северо-западном шельфе поверхность консолидированной коры картируется на глубине —4, —6 км. По ней вырисовывается система субширотно ориентированных —пликативных структур и крупных разрывных нарушений. В пределах поднятий она поднимается до отметок —4 км, а в прогибах погружается до отметки —6 км.

Резюмируя сказанное, можно отметить, что в центральной глубоководной части Черного моря выполняющий впадину комплекс осадочных пород подстилается непосредственно консолидированной корой, в составе которой принимают участие «базальтовый» геофизический слой (Западно-Черноморская впадина) и «базальтовый» и «гранитный» геофизические слои (Восточно-Черноморская впадина и Центрально-Черноморское поднятие). На периферии осадочный комплекс глубоководного бассейна накладывается на платформенный чехол и комплексы пород фанерозойских складчатых сооружений. Глубоководный бассейн ограничен континентальными погребенными палеосклонами и современным континентальным склоном. Последние представляют собой флексуриро-разрывные зоны, подработанные склоновой плоскостной эрозией.

Литература

1. Андреев В. М., Луцук Е. Л., Шиманов Ю. В. и др. Тектоника западной части Черного моря//Geol. Bolc. 1981. Т. 11. N 4. С. 3—18.
2. Белокулов В. С. Средние скорости в земной коре центрального и северо-восточного районов Черноморской впадины//Геофизические исследования территории Украины. Киев: Наук. думка, 1972. 214 с.
3. Брюкнер Д. А., Добрев Т., Дранников Е. и др. Структура осадочного чехла платформенной части шельфа НР Болгарии в связи с перспективами нефтегазоносности// Geol. Bolc. 1980. Т. 11. N 2. С. 119—128.
4. Вольвовский И. С., Вольвовский Б. С. Разрезы земной коры территории СССР по данным глубинного сейсмического зондирования. М.: Сов. радио, 1975. 215 с.
5. Земная кора и история развития Черноморской впадины. М.: Наука, 1975. 358 с.
6. Коган Л. И., Шимкус К. М., Москаленко В. И. и др. Новые данные о глубинной структуре Черноморской впадины (по материалам глубинного сейсмопрофилирования МОВ)//Докл. АН СССР. 1987. Т. 233. № 3. С. 450—452.
7. Маловицкий Я. П., Углов Б. Д., Осипов Г. В. Некоторые черты глубинного строения Черноморской впадины по данным гидромагнитной съемки//Морская геология и геофизика. 1972. Вып. 3. С. 12—21.
8. Туголесов Д. А., Горшков А. С., Мейскер Л. Б. и др. Тектоника мезо-кайнозойских отложений Черноморской впадины. М.: Недра, 1985. 214 с.
9. Шиманов Ю. В., Монахов И. Б., Зидарова Е. Г. и др. Геологическое строение мезо-зойско-кайнозойского осадочного чехла//Нефтегазогенетические исследования болгарского сектора Черного моря. София: Изд. БАН, 1984. С. 15—45.

Межведомственный геофизический
комитет при президенте
АН СССР, Москва, 117296;

Южное отделение Института океанологии,
Геленджик, 353470;

Геологический институт
АН СССР, Москва, 109017

Поступила в редакцию
8.VIII.1987