

УДК 551.7:550.34.06 (262.5)

ОПОРНЫЕ ОТРАЖАЮЩИЕ ГОРИЗОНТЫ В СЕЙСМИЧЕСКОЙ ЗАПИСИ ОСАДОЧНОГО ВЫПОЛНЕНИЯ ЧЕРНОМОРСКОЙ ВПАДИНЫ (КОРРЕЛЯЦИЯ И СТРАТИГРАФИЧЕСКАЯ ПРИВЯЗКА)

© 2003 г. Л. Б. Мейснер, Д. А. Туголесов

Научно-исследовательский и проектный институт геофизических методов разведки океана, Геленджик
Поступила в редакцию 09.09.2001 г., получена после доработки 14.10.2002 г.

В Черноморской глубоководной впадине, при почти полном отсутствии бурения, основным методом изучения геологического разреза остается сейсморазведка ОГТ. Поэтому стратиграфическое расчленение осадочной толщи основывается на выделении и корреляции опорных отражающих горизонтов. В сейсмической записи кайнозойских отложений впадины установлены четыре опорных горизонта: В – в подошве антропогена, I – в подошве верхнего миоцена, Ia – в кровле нижнего миоцена, IIa – в кровле эоцена. В основании кайнозойской толщи (мощность которой достигает 10–12 км) прослежена отражающая поверхность, на одних участках отвечающий кровле мела (опорный горизонт III), согласно перекрестной корреляции отложениями палеогена, на других участках представляющая собой денудированную поверхность мезозоя (обозначенную индексом H, по начальной букве слова “несогласие”). Опорные горизонты расчленяют выполнение впадины на пять крупных комплексов: антропоген, верхний миоцен – плиоцен, средний миоцен, олигоцен – нижний миоцен (майкопскую серию) и палеоцен – эоцен. Для более детального стратиграфического расчленения осадочной толщи впадины нет надежных оснований. Корреляция горизонтов способствует преимущественно спокойное, почти горизонтальное залегание слоев во впадине и выдержанность горизонтов. В статье подробно описаны все выделенные опорные отражающие горизонты, их латеральные изменения, увязка с береговыми и морскими скважинами, а также некоторые особенности залегания осадочных комплексов. Установлено, что наиболее мощный и полный разрез кайнозойских отложений впадины находится в абиссальной части моря. Здесь зафиксированы и наиболее выдержанные, непрерывно прослеживаемые опорные отражающие горизонты. Поэтому при дальнейших работах опорные горизонты возможно придется проследить из абиссали в пределы континентального склона и даже на шельф.

Ключевые слова. Черное море, сейсмические горизонты, палеоцен – эоцен, майкопская серия, миоцен, плиоцен, антропоген.

ВВЕДЕНИЕ

В отличие от окружающей суши, основным и почти единственным фактическим материалом для изучения геологического строения Черноморской впадины являются временные разрезы сейсмических профилей. Тектоника впадины и стратиграфическое расчленение ее осадочного выполнения определились только в начале 80-х годов XX столетия, когда по всей ее площади были проведены систематические сейсморазведочные работы ОГТ (рис. 1), записавшие весь разрез на глубину до 15 км. Результаты этих работ изложены в ряде публикаций (Горшков и др., 1989; Туголесов и др., 1985). Были обнаружены и закартированы все тектонические формы второго и третьего порядков: два основных депоцентра прогибания Черноморской впадины, интенсивно прогибавшиеся с начала палеогена, группа прогибов возникших в олигоцене, разделяющие их впадины, а также многочисленные более мелкие под-

нятия, линейные складки в прогибах и грязевые вулканы.

Прошло около двадцати лет с выхода первой подробной публикации (Туголесов и др., 1985), но еще не найдено сколько-нибудь весомых фактов, которые смогли бы изменить полученные выводы. Выходившие за это время статьи в большинстве своем содержали различные геодинамические модели. Обсуждение таких работ не соответствует задаче данной статьи. Новые сейсморазведочные работы, проводившиеся в этот период в отдельных участках акватории, уточнили лишь некоторые детали строения впадины. Но они показали, что в предыдущих наших публикациях недостает специального описания корреляции и стратиграфической привязки выделенных опорных сейсмических горизонтов. Данная статья имеет своей целью восполнить этот пробел.

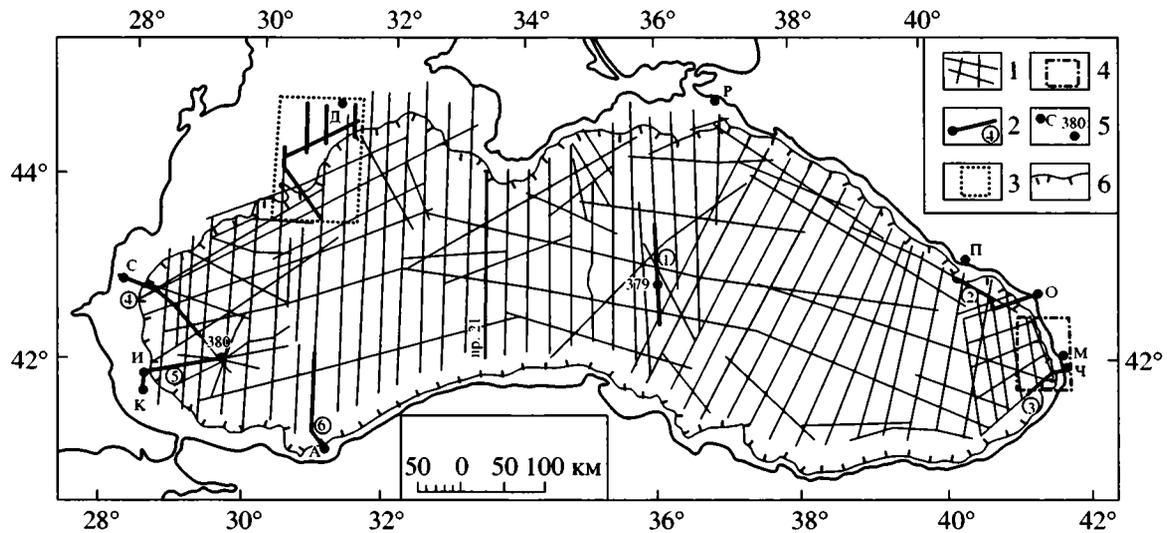


Рис. 1. Карта изученности Черноморской впадины сейсмическими профилями ОГТ, обработанными ГНЦ «Южморгеология».

1 – сеть сейсмических профилей; 2 – линии сейсмических профилей, схематизированные временные разрезы которых приведены на рисунках 4 и 5 (в кружках номера разрезов); 3 – площадь дельты и конусов выноса Дуная, в пределах которой коррелированы временные разрезы сейсмических профилей, изображенные на рис. 6; 4 – часть восточного замыкания Черноморской впадины, изображенная на рис. 11; 5 – скважины, к разрезам которых привязаны опорные отражающие горизонты (А – Акчаходжа 1, Д – Десантная, И – Игнеада, К – Карадениз, М – Малтаква 3, О – Очамчире 4, П – Пицунда 2, Р – Рифовая 302, С – Самотино-море, Ч – Чолоки 3, 379 и 380 – глубоководные скв. DSDP БС «Гломар Челленджер»); 6 – бровка шельфа.

ОПОРНЫЕ ОТРАЖАЮЩИЕ ГОРИЗОНТЫ

В кайнозойском осадочном выполнении Черноморской впадины выделены четыре опорных отражающих горизонта: В – отвечающий подошве отложений антропогена, I – сопоставленный с подошвой верхнего миоцена, Ia – в кровле отложений олигоцена – нижнего миоцена (майкопской серии), Па – увязанный с кровлей эоцена. В основании кайнозойской толщи почти по всей площади впадины прослежена отражающая поверхность, представляющая собой местами кровлю мела, согласно перекрытую палеогеном (горизонт III), и, преимущественно, денудированную поверхность мезозоя (горизонт H).

Эти опорные горизонты разделяют кайнозойскую осадочную толщу впадины на пять крупных комплексов: 1) антропоген; 2) верхний миоцен – плиоцен; 3) средний миоцен; 4) олигоцен – нижний миоцен (майкопскую серию); 5) палеоцен – эоцен.

Для более детального стратиграфического деления нет достаточно надежных оснований. Возраст слоев, записанных на временных разрезах сейсмических профилей, можно определить только прослеживанием их от скважин. Три глубоководные скважины DSDP в Черном море вскрыли лишь незначительную часть осадочной толщи. Кроме того, найденная в их кернах фауна не позволяет уверенно оценить возраст пройденных слоев и точно определить границу даже подошвы

антропогена. Остается привязка к береговым и шельфовым скважинам. Она затруднена резким увеличением мощности кайнозойских отложений во впадине по сравнению с шельфами и окружающей сушей, а также нередко полным выклиниванием многих толщ на бортах впадины. Однако на некоторых участках удается прослеживание отдельных опорных горизонтов от береговых и шельфовых скважин в толщу осадков глубоководной впадины.

Такой корреляции благоприятствует спокойное, почти горизонтальное залегание слоев на большей части площади впадины и широкое площадное распространение сейсмических горизонтов. На прилегающей суше известна латеральная выдержанность литологического состава выделяемых свит в хорошо изученных разрезах кайнозойских прогибов, граничащих с Кавказом. Нередко от разреза к разрезу прослеживаются на многие десятки километров даже отдельные маломощные горизонты, как например, карбонатные пачки, пласты и даже отдельные прослои в мощной слабо карбонатной песчано-глинистой толще чокрака и карагана Терской нефтеносной области. При этом они, как отмечает Б.П. Жижченко, строго приурочены к определенным стратиграфическим уровням. В качестве другого примера он упоминает алкунскую мергельно-доломитовую пачку мощностью 10–20 м, лежащую в подошве среднего майкопа и прослеженную в

толще бескарбонатных пород майкопской серии от Каспийского моря до р. Белой на Кубани, т.е. на расстояние сотен километров (Жижченко, 1969, с. 42).

Терский и Западно-Кубанский прогибы по условиям осадконакопления имеют сходство с Черноморской впадиной. Но она отличается от них значительно большей глубиной и устойчивостью прогибания. Поэтому, вероятно, в ее осадочном выполнении можно ожидать еще большей литологической выдержанности и протяженности как свит, так и отдельных горизонтов.

Действительно, для временных разрезов сейсмических профилей в Черноморской впадине характерны многочисленные отражения, непрерывно сходящиеся по профилям на большие расстояния. Среди них выделены наиболее выразительные и устойчивые опорные горизонты. Естественно, что их динамическая выразительность неравномерна по площади впадины. Однако благодаря достаточно густой сети профилей они протянуты и на участках неясной сейсмической записи. Соответственно и увязка их с разрезами скважин была выполнена с различной степенью достоверности. При этом надо учитывать степень точности оценки глубин залегания отражающих горизонтов, определяемой по скоростям прохождения упругих волн в осадочной толще. Вероятная погрешность этой оценки, составляющая около 15 м для глубины 1 км под дном, многократно возрастает на глубинах 10–12 км под дном.

Описание сейсмических горизонтов сопровождается не оригинальными временными разрезами, а их схематизированными изображениями, так как формат журнала не позволяет поместить длинные временные разрезы с отчетливо видимой сейсмической записью и с небольшим искажением горизонтального масштаба по отношению к вертикальному масштабу, которые использовались для корреляции и стратиграфической привязки сейсмических горизонтов. Для иллюстрации характера сейсмической записи осадочного выполнения Черноморской впадины приведен один сжатый и сильно уменьшенный временной разрез (рис. 2).

ОПОРНЫЕ ГОРИЗОНТЫ III (КРОВЛЯ МЕЛА) И N (РАЗМЫТАЯ ПОВЕРХНОСТЬ МЕЗОЗОЙСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ)

Отражающий горизонт III в кровле мела (рис. 3) записан многими сейсмическими профилями на шельфе и в верхней части континентального склона в грузинском секторе Черного моря. В пределах Очамчирского свода на шельфе он залегает практически горизонтально, как и вышележащие опорные горизонты. В разрезе берего-

вой скважины Очамчире 4 кровля мела вскрыта на глубине 1900 м. Этой скважиной зафиксированы также глубины и всех остальных стратиграфических границ, к которым отнесены выделенные в акватории опорные отражающие горизонты: кровля эоцена на глубине 1780 м, кровля майкопской серии – 1350 м, размытая кровля сарматского яруса – 680 м, подошва антропогена – 250 м. Концы морских сейсмических профилей отстоят здесь от береговой линии на 8–10 км. Однако горизонтально залегающие отражающие горизонты, проецируясь на разрез скважины, падают, в пределах разрешающей способности сейсмической записи, на перечисленные границы (рис. 4, разрез 2).

По трем пересекающимся сейсмическим профилям ОГТ отражающий горизонт III (как и вышележащие) уверенно протянут на Гудаутский свод. Здесь с помощью сейсмических профилей МОВ, отработанных еще в середине 70-х годов прошлого века, он в первом приближении увязывается с разрезом береговой скважины Пицунда 2 (рис. 3 и 4, разрез 2). Далее к северо-западу горизонт III непрерывно прослежен по всему своду вала Шатского и по его пологому северо-восточному крылу вглубь Туапсинского прогиба. На крутом перегибе юго-западного крыла вала кровля мела переходит в поверхность размыва, которая на временных разрезах обозначается индексом N (по начальной букве слова “несогласие”).

Наиболее выразительно эта поверхность размыва записана сейсмическими профилями, пересекающими крутой прикрымский склон Западно-Черноморской впадины, амплитуда которого достигает 8–10 км (рис. 3). В верхней его части, образующей здесь котинентальный склон современной глубоководной котловины, обнажаются отложения мезозоя – не только мела, но и юры, и таврической серии (верхняя юра – нижний триас). Западнее Горного Крыма склон впадины постепенно становится более пологим. Отражающий горизонт III, прослеженный на северо-западном шельфе и стратифицированный по разрезам шельфовых скважин как кровля мела, здесь плавно погружается к югу, переходя далее в поверхность размыва N (рис. 5).

На болгарском шельфе горизонт III закартирован густой сетью сейсмических профилей ОГТ и уверенно привязан к кровле мела в береговых скважинах (Дачев и др., 1989). По оси Нижнекамчатского прогиба, залегая немного глубже забоя скважины Самотино-море, он полого погружается в Западно-Черноморскую впадину и в глубине ее незаметно переходит в горизонт N (рис. 6, разрез 4). Южнее кровля мела вскрыта на турецком шельфе скважиной Карадениз. Приблизительно экстраполированная от скважины Карадениз до скважины Игнеада, далее кровля мела прослеже-

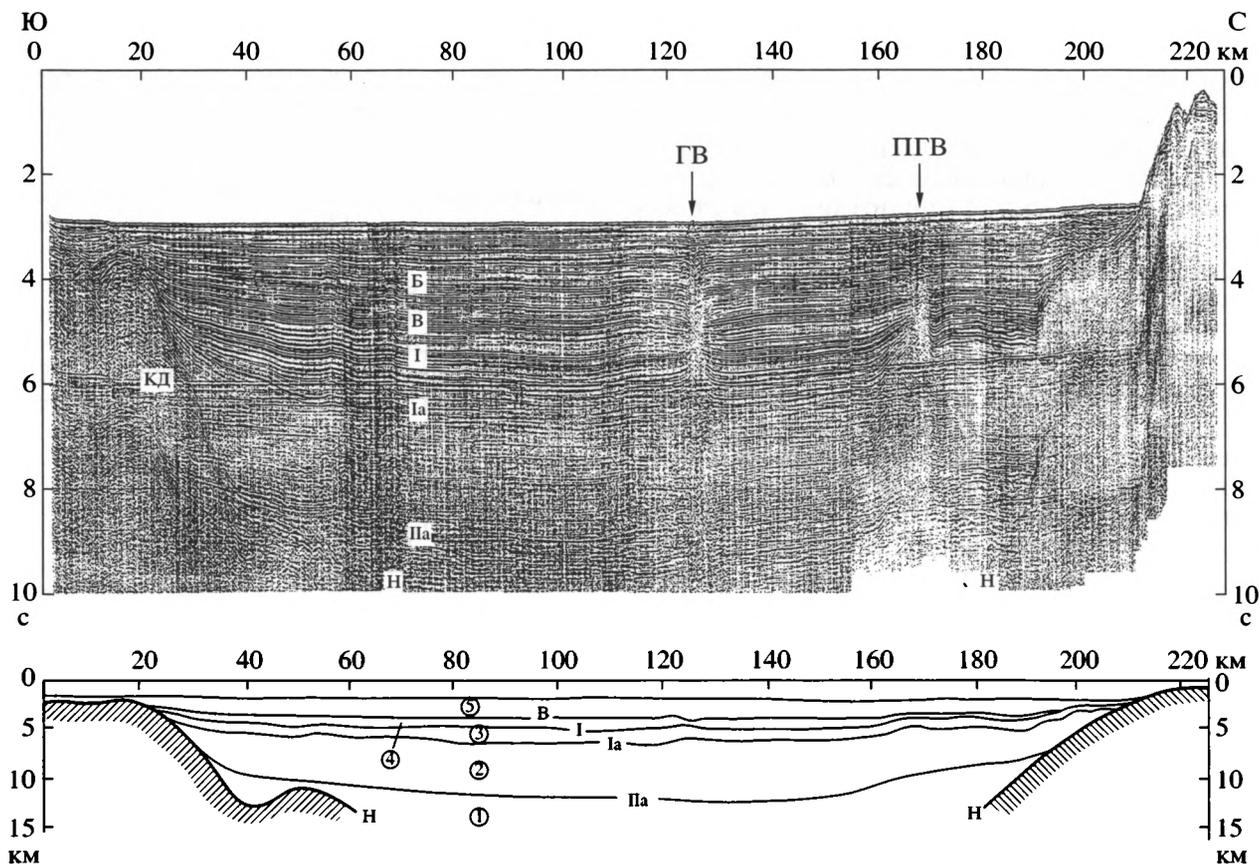


Рис. 2. Временной разрез сейсмического профиля ОГТ 579 21 через Западно-Черноморскую впадину. Местоположение см. на рисунках 1, 3, 7, 8, 9, 10.

Опорные отражающие горизонты: Б – в толще антропогена, В – подошва антропогена, I – подошва верхнего миоцена, Ia – кровля нижнего миоцена (кровля майкопской серии), Па – кровля эоцена, Н – кровля мезозоя; КД – верхняя граница кратных отражений (“кратное дно”); ГВ – грязевой вулкан; ПГВ – погребенный грязевый вулкан.

Разрез схематически дублирован в линейном вертикальном масштабе, двукратно увеличенном относительно горизонтального масштаба. Цифры в кружках – осадочные комплексы: 1 – палеоцен – эоцен, 2 – олигоцен – нижний миоцен (майкопская серия), 3 – средний миоцен, 4 – верхний миоцен – плиоцен, 5 – антропоген.

на в глубоководье по временному разрезу сейсмического профиля ОГТ, где переходит в отражающий горизонт Н (рис. 6, разрез 5). На анатолийском шельфе Турции скв. Акчаходжа 1 также вскрыла кровлю мела. С ней увязывается отражающий горизонт III, записанный сейсмическим профилем ОГТ в 10 км севернее скважины вблизи бровки шельфа (рис. 6, разрез 6). Далее вглубь впадины он вскоре также переходит в горизонт Н.

Этим ограничиваются площади установленного прослеживания отражающего горизонта III в Черноморской впадине. На большей части глубоководной акватории поверхность мезозойского основания впадины не может быть уверенно отождествлена с кровлей верхнего мела. На крутых склонах впадины размытость этой поверхности очевидна. На это указывает и характер налегания на нее кайнозойских свит, сокращающихся в мощности и выклинивающихся вверх по склону

(Горшков и др., 1993; Туголесов и др., 1990). Так же очевидна денудационная ее природа на своде вала Андрусова (рис. 4, разрез 1). Здесь она определяется не только по характеру налегания вышележащих палеогеновых толщ, но и по наличию нескольких отражающих горизонтов внутри мезозойского основания вала, несогласно срезаемых поверхностью мезозоя. Стратиграфическая привязка этих горизонтов в настоящее время не может быть точно установлена. В основаниях Западно- и Восточно-Черноморских впадин горизонт Н по большей части выражен в сейсмической записи заметно слабее, чем на их склонах. Он представляет собой неровную, несколько волнистую поверхность, образующую ряд поднятий различной величины и амплитуды. Зачастую ее удастся проследить лишь по подошвенному налеганию на эти поднятия отражающих площадок и горизонтов внутри палеоцен – эоценовой толщи.

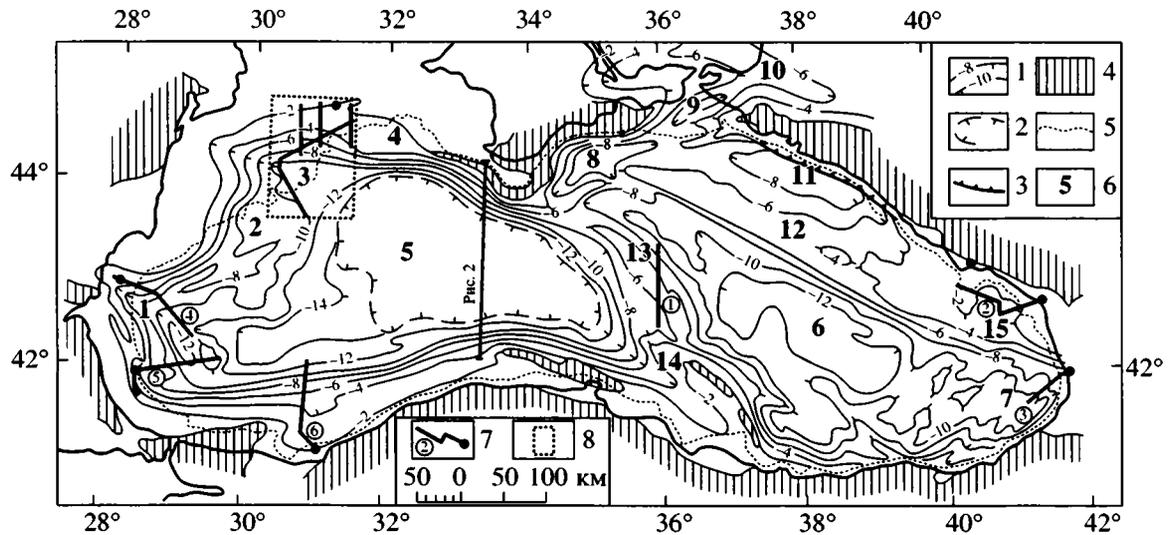


Рис. 3. Структурная карта Черноморской впадины по подошве кайнозойских отложений (отражающие горизонты III и H). 1 – изолинии по кровле мела (или размытой поверхности мезозойских отложений), км; 2 – контур акватории, на которой отражения от поверхности мезозоя не получены; 3 – Прикавказский взбросо-надвиг; 4 – области отсутствия кайнозойских отложений; 5 – бровка шельфа; 6 – обозначения структур второго порядка.

(1 – Нижнекамчийский прогиб, 2 – Болгарская ступень, 3 – Истрийский прогиб, 4 – Краевая ступень, 5 – Западно-Черноморская впадина, 6 – Восточно-Черноморская впадина, 7 – Гурийский прогиб, 8 – прогиб Сорокина, 9 – Керченско-Таманский прогиб, 10 – Индоло-Кубанский прогиб, 11 – Туапсинский прогиб, 12 – вал Шатского, 13 – вал Андрусова, 14 – вал Архангельского, 15 – Гудаутский и Очамчирский своды); 7 – линии сейсмических профилей, схематизированные временные разрезы которых изображены на рис. 4 и 5; 8 – площадь, в пределах которой коррелированы временные разрезы сейсмических профилей, изображенные на рис. 6.

Такое подошвенное налегание палеоцен-эоценовых отложений и часто наблюдаемое уменьшение их мощности над поднятиями горизонта H свидетельствует, что крупные изгибы кровли мезозоя, образующей основания впадин, формировались в процессе погружения этих впадин в палеогеновом периоде. При этом Западно-Черноморская впадина погружалась сильнее Восточно-Черноморской и в ее наиболее прогнутой части сейсмическая запись не достигла поверхности H (рис. 3).

Более глубокие отражающие горизонты записаны и стратифицированы на северо-западном и болгарском шельфах. В пределах глубоководной акватории лишь в грузинском секторе моря установлен горизонт V, соответствующий кровле юры (рис. 4, разрез 2). К северо-западу он еще следует вдоль свода вала Шатского приблизительно до меридиана 38°, а далее уверенная прослеживаемость сейсмических горизонтов в мезозойских породах по имеющимся у нас сейсмическим данным невозможна.

ОПОРНЫЙ ГОРИЗОНТ IIa (КРОВЛЯ ЭОЦЕНА)

Отражающий горизонт, соответствующий кровле эоцена (рис. 7) в Черноморской впадине ранее всего был установлен в грузинском секторе

моря. Первоначально он почти не разделялся здесь с горизонтом по кровле мела вследствие малой мощности и однообразно карбонатного состава как палеоцен – эоценовых, так и верхнемеловых отложений (Гончаров и др., 1972). В дальнейшем опорные горизонты IIa и III были в этом районе разделены, привязаны к разрезам береговых скважин Очамчире 4 и Пицунда 2 (рис. 4, разрез 2) и непрерывно прослежены дальше на северо-запад по всему своду и северо-восточному крылу вала Шатского. На этой обширной площади по всем временным разрезам сейсмических профилей отражающая поверхность IIa резко выделяется как выдержанный акустически жесткий горизонт. При этом горизонты IIa и III неизменно конформны и сближены, свидетельствуя о малой мощности палеоцен – эоценовых отложений.

На северо-западном и северо-болгарском шельфах отражающий горизонт IIa, привязанный к кровле эоцена в береговых и шельфовых скважинах, также отчетливо записывается на временных разрезах. Палеоцен – эоценовые отложения и здесь относительно маломощны и представлены карбонатной толщей (рис. 5).

В Нижнекамчийском прогибе, в отличие от смежных участков северо-болгарского шельфа, мощность палеоцен-эоценовой толщи значительно возрастает. Отражающий горизонт IIa, привязанный к кровле эоцена в разрезе скважины

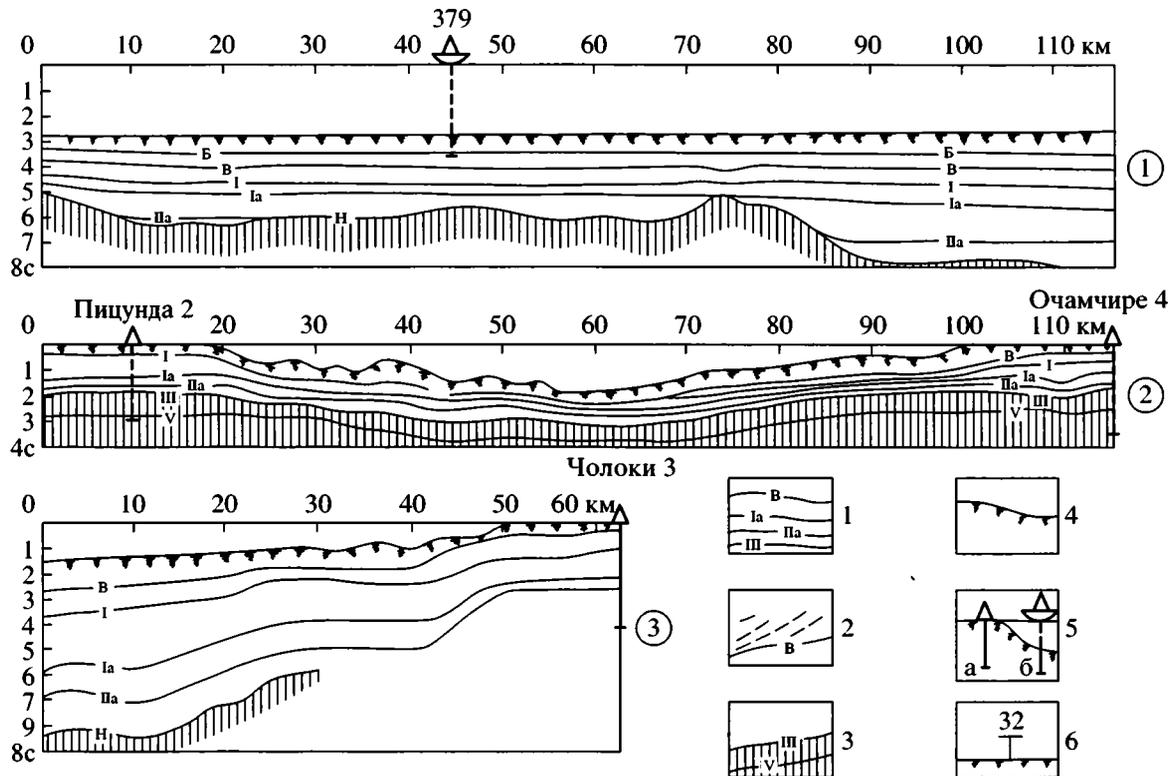


Рис. 4. Схематизированные временные разрезы сейсмических профилей ОГТ в Восточно-Черноморской впадине и их корреляция с разрезами скважин.

Местоположение сейсмических профилей и скважин, изображенных на рис. 4, 5, 6, см. на рис. 1, 3, 7, 10.

1 – опорные отражающие горизонты и их индексы: Б – в толще антропогена, В – подошва антропогена, I – подошва верхнего миоцена, Ia – кровля нижнего миоцена (кровля майкопской серии), Па – кровля эоцена, III – кровля мела (на склонах и в днище впадины переходит в горизонт Н – размытую поверхность мезозойских отложений), V – кровля юры; 2 – отражающие границы, фиксирующие дельтовые клиноформы в толще антропогена; 3 – отложения мезозоя; 4 – поверхность дна моря; 5 – скважины (а – береговые и шельфовые, б – глубоководные); 6 – места пересечения сейсмических профилей.

Самотино-море, непрерывно прослеживается сейсмическими профилями далеко в пределы глубоководной впадины. На всем протяжении он сохраняет свою динамическую выразительность, отчетливо прорисовываясь даже сквозь кратные отражения (рис. 6, разрез 4).

Южнее горизонт Па почти так же уверенно прослеживается в глубоководную впадину от шельфовой скважины Игнеада (рис. 6, разрез 5). Несколько менее четко он протянут от скважины Акчаходжа I на анатолийском шельфе (рис. 6, разрез 6). Здесь на большой площади склона Западно-Черноморской впадины мощность палеоцен-эоценовых отложений невелика (рис. 7), участками они совсем выклиниваются и кровля эоцена записывается неотчетливо. При дальнейшем погружении во впадину отражающий горизонт Па вновь приобретает свою выразительность.

В центральной части Западно-Черноморской впадины к югу и юго-западу от Крыма горизонт Па залегает особенно глубоко, на глубинах до 10–12 км ниже уровня моря. Здесь, в области гори-

зонтального залегания осадочной толщи, его нередко бывает трудно проследить среди кратных волн. Обнаружить его помогают бескорневые куполовидные поднятия майкопской толщи, с которыми связана повышенная загазованность отложений. Повышенное содержание газа в осадочной толще вызывает замедленное прохождение упругих волн в пределах этих поднятий, вследствие чего в сейсмической записи горизонт Па образует под ними обратные изгибы, так называемые “скоростные синклинали”, отчетливо проступающие сквозь кратные волны (Горшков и др., 1993; Мейснер и др., 1996). Благодаря этому, в промежутках между ними горизонт Па коррелируется уже достаточно уверенно.

Мощность палеоцен – эоценовых отложений в Западно-Черноморской впадине особенно велика, превышая в наиболее прогнутой части 5 км. В их толще прослеживаются еще два – три отражающих горизонта, столь же акустически жесткие как горизонт Па, но менее выдержанные. На склонах впадины мощность отложений палеоцен –

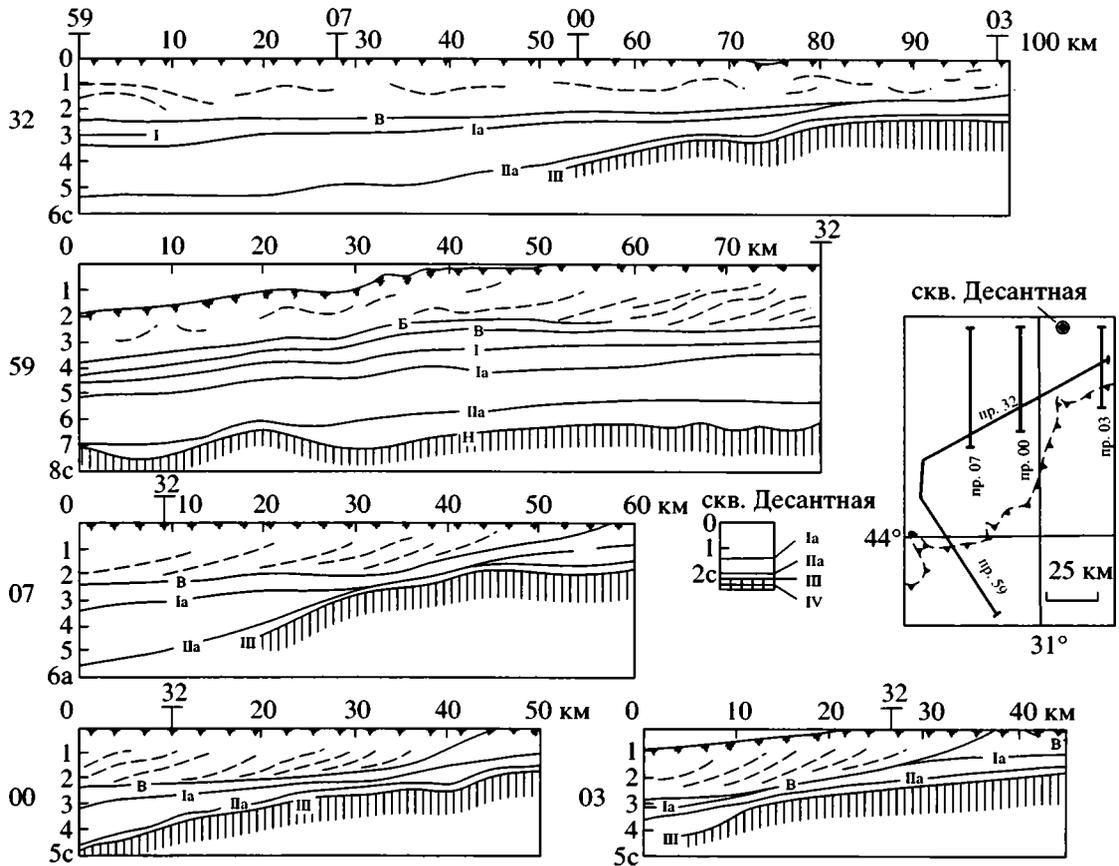


Рис. 5. Схематизированные временные разрезы сейсмических профилей ОГТ на северо-западном шельфе Черного моря в пределах дельты и конусов выноса Дуная. Условные обозначения см. на рис. 4.

эоцена постепенно сокращается, горизонты поднимаются кверху, сближаются друг с другом и выклиниваются, прислоняясь к поверхности мезозоя. Так же поднимается и прислоняется к поверхности мезозоя опорный отражающий горизонт IIa.

Аналогично залегают палеоцен – эоценовые отложения и на склонах вала Андрусова, полностью выклиниваясь на его своде (рис. 7 и 4, разрез 1). Несмотря на это, горизонт IIa отличается настолько характерной записью, что уверенно опознается как идентичный по обе стороны вала – в Западно-, и Восточно-Черноморской впадинах. К тому же он почти непрерывно прослежен от одной впадины до другой вдоль неглубокой ложбины между сводами валов Андрусова и Архангельского (рис. 7).

В Восточно-Черноморской впадине мощность отложений палеоцен – эоцена существенно меньше, несколько превышая 3 км в осевой ее части. При этом рельеф поверхности мезозойского основания довольно сложен и, соответственно, значительна латеральная изменчивость мощностей палеоцен – эоцена. Горизонт IIa прослеживается

здесь гораздо увереннее, чем в Западно-Черноморской впадине.

Вдоль склона, сочленяющего Восточно-Черноморскую впадину с валом Шатского, отложения, ограниченные сверху горизонтом IIa выклиниваются в 1.5–2 км ниже бровки склона. А над бровкой, на своде вала вновь появляется аналогичный по характеру сейсмической записи горизонт. На некоторых участках он даже перегибается и тянется на некоторое расстояние вниз по склону. Именно изучение структуры этого склона привело к выводу о склонах двух Черноморских впадин как о громадных, длительно и консидиментационно формировавшихся флексурах, в опущенных крыльях которых (во впадинах) мощность образующих их отложений в несколько раз больше, чем в поднятых крыльях (т.е., на смежных шельфах, валах и сводах). А соединительные крылья флексур (т.е., собственно, склоны впадин) характерны тем, что на них каждая свита утоняется, порой до полного исчезновения (Туголесов и др., 1985; Туголесов и др., 1990; Горшков и др., 1993).

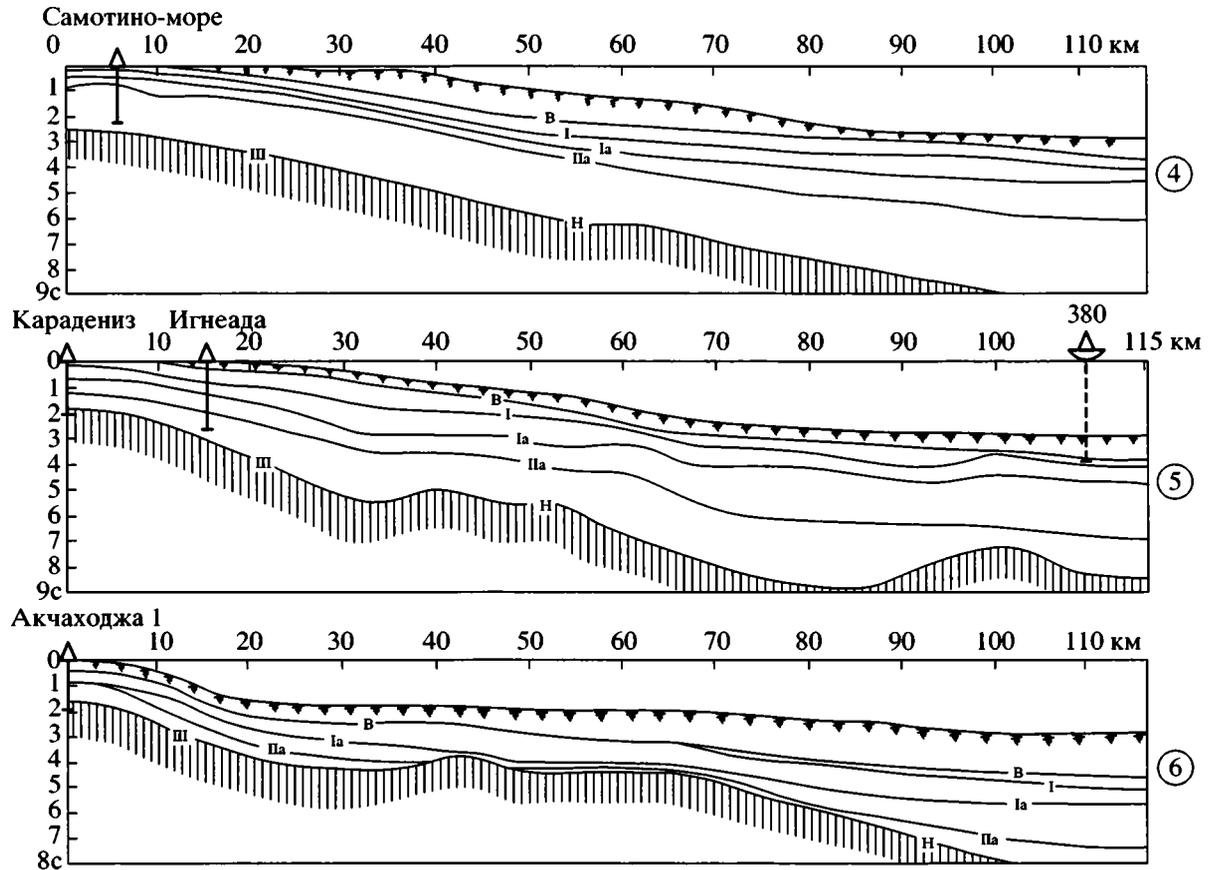


Рис. 6. Схематизированные временные разрезы сейсмических профилей ОГТ в Западно-Черноморской впадине и их корреляция с разрезами скважин.

Условные обозначения см. на рис. 4.

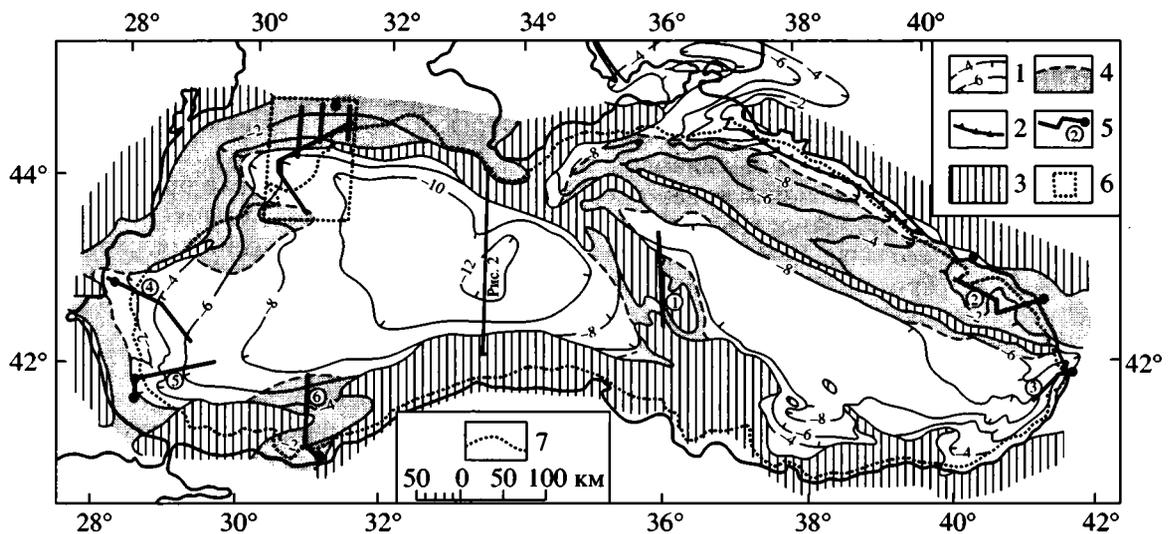


Рис. 7. Карта распространения отражающего горизонта IIa (кровля эоцена) в Черноморской впадине.

1 – изолинии по кровле эоцена, км; 2 – зона разломов, нарушающих кровлю эоцена; 3 – области отсутствия отложений палеоцена – эоцена; 4 – области малой мощности отложений палеоцена – эоцена (сближения отражающих горизонтов IIa и III); 5 – линии сейсмических профилей, схематизированные временные разрезы которых приведены на рисунках 4 и 6; 6 – площадь, в пределах которой коррелированы временные разрезы сейсмических профилей, изображенные на рис. 5; 7 – бровка шельфа.

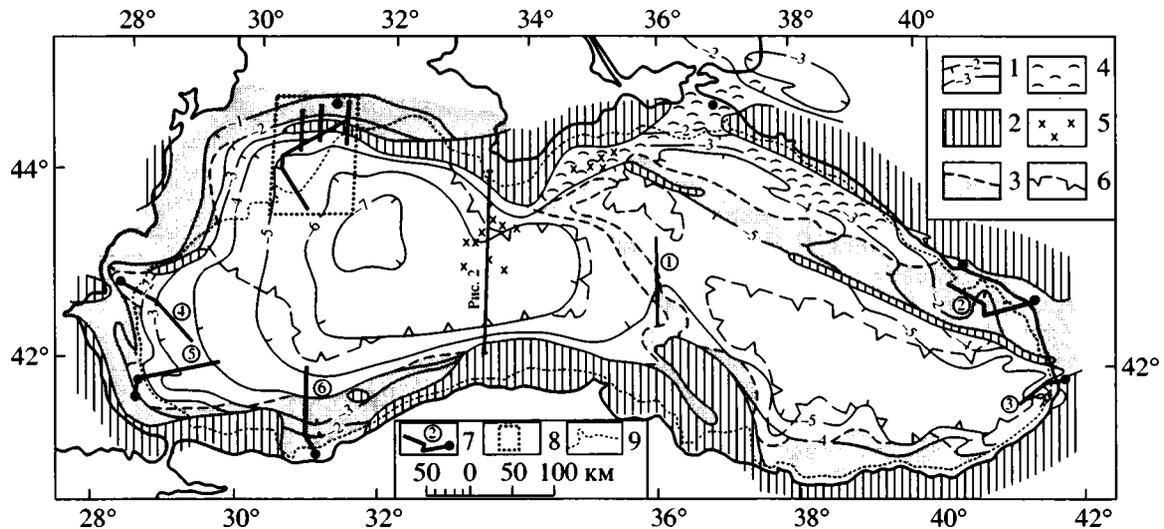


Рис. 8. Карта распространения отражающего горизонта Ia (кровля нижнего миоцена) в Черноморской впадине.

1 – изолинии по кровле нижнего миоцена (кровле майкопской серии), км; 2 – области отсутствия отложений нижнего миоцена (майкопской серии); 3 – области малой мощности нижнего миоцена (майкопской серии) – сближения отражающих горизонтов Ia и Па; 4 – зоны складчатых деформаций глин майкопской серии в прогибах; 5 – подводные грязевые вулканы, сопочная брекчия которых состоит в основном из майкопских глин; 6 – участки акватории, в которых отражающий горизонт Ia замаскирован кратными отражениями; 7 – линии сейсмических профилей, схематизированные временные разрезы которых изображены на рисунках 4 и 5; 8 – площадь, в пределах которой коррелированы временные разрезы сейсмических профилей, изображенные на рис. 5; 9 – бровка шельфа.

Кроме этих структурных сопоставлений имеется также приблизительная увязка горизонта Па в Гурийском прогибе с разрезом береговой скважины Чолоки 3 (рис. 4, разрез 3). Гурийский прогиб по существу сливается с Восточно-Черноморской впадиной, и опорный горизонт Па непрерывно прослеживается в его пределах.

ОПОРНЫЙ ГОРИЗОНТ Ia (КРОВЛЯ НИЖНЕГО МИОЦЕНА)

Выделение стратиграфически определенных осадочных комплексов в Черноморской впадине началось с установления отложений майкопской серии (олигоцен – нижний миоцен). По аналогии с наземным Керченско-Таманским прогибом обнаруженные в акватории зоны складок явились признаком наличия мощной майкопской глинистой толщи и, соответственно, существования здесь прогибов Туапсинского и Сорокина. Таким же признаком для Западно-Черноморской впадины оказались обнаруженные к югу от Крыма многочисленные куполовидные поднятия и связанные с ними единичные грязевулканические конусы (Гаркаленко и др., 1976). При детальном съемках 80-х годов число грязевых вулканов здесь умножилось, затем они были найдены в прогибе Сорокина. Опробование сопочной брекчии показало, что она образована, в основном, глинами майкопской серии (Мейснер и др., 1996; Mud volcanism..., 1994). Таким образом, подтвер-

дились первоначальные выводы, основанные на структурном анализе.

Кровля майкопских отложений (отражающий горизонт Ia) была приблизительно определена по временным разрезам сейсмических профилей на таманском шельфе, ориентировочно привязанным к разрезам суши, и прослежена далее в глубоководье. Позднее на таманском шельфе была пробурена скважина Рифовая 302 (рисунки 1 и 8), заложенная на своде одноименной антиклинали. Вскрытая этой скважиной на глубине 600 м кровля майкопской серии совпала с выделенным опорным горизонтом Ia в пределах точности первых десятков метров (первых десятков миллсекунд сейсмической записи).

Почти на всей площади глубоководной котловины отражающий горизонт Ia залегает плоско, с очень пологим наклоном вглубь Западно-Черноморской и Восточно-Черноморской впадин. При этом в наиболее прогнутых частях этих впадин он на временных разрезах сейсмических профилей замаскирован кратными отражениями, оказываясь несколько глубже “второго дна” (кратной записи дна моря), либо почти совпадая с ним (рис. 8). Зато в приподнятых бортовых участках впадин, а также на своде и крыльях вала Андрусова, там где горизонт Ia залегает выше “второго дна”, под ним на временных разрезах повсеместно появляется интервал акустически прозрачной сейсмофации. Это характерная особенность записи отложений майкопской серии (следует заметить, что в

антиклинальных складках прогибов Туапсинского и Сорокина она не проявляется: сейсмическая запись майкопской толщи в них имеет тот же характер, что и у вышележащих слоев).

От этих участков с “прозрачной” записью майкопской толщи горизонт Ia экстраполируется вглубь впадин и, в первом приближении, проводится там среди кратных волн. В Восточно-Черноморской впадине он следует по всей площади довольно уверенно почти сразу под кратной записью второго дна. Такое его слежение подтверждается и увязкой с разрезом береговой скважины Чолоки 3 (рис. 4, разрез 3). В Западно-Черноморской впадине прослеживание отражающего горизонта Ia среди кратных волн менее отчетливо, но подтверждается сейсмической записью в западной части впадины, где этот горизонт залегает выше “второго дна” (рисунки 6 и 8), и на северо-западном шельфе (рис. 5).

На Очамчирском и Гудаутском сводах и на своде вала Шатского, характеризующихся малой мощностью отложений майкопской серии, отражающий горизонт Ia, лежащий практически горизонтально и конформно с горизонтом IIa, уверенно увязан с разрезами береговых скважин Очамчире 4 и Пицунда 2 (рис. 4, разрез 2). К северо-востоку он полого погружается в сторону Туапсинского прогиба. Мощность майкопской толщи по мере погружения возрастает, но горизонт Ia сохраняет непрерывность и динамическую выраженность в сейсмической записи, вплоть до первых фронтальных антиклиналей в прогибе.

В зоне складок опорные отражающие горизонты удастся уверенно выделить и проследить лишь вдоль осей тех синклиналей, которые раскрываются в область спокойного залегания олигоцен – миоценовых отложений. Опираясь на эти немногие синклинали можно приблизительно наметить положение опорных горизонтов Ia, I и B в разрезах соседних антиклиналей и затем экстраполировать их на остальную часть складчатой зоны прогиба. Наиболее определенно это удалось сделать пока для горизонта I (Мейснер, Туголесов, 1998). Глубже залегающий горизонт Ia поддается такой экстраполяции труднее, так как сейсмические профили высокочастотной модификации МОВ, густой сетью покрывающие акваторию Туапсинского прогиба, имеют малую глубину сейсмической записи, и горизонт Ia на многих участках оказывается за ее пределами. Прогиб Сорокина исследован менее подробно, и структурные карты его по всем опорным горизонтам очень схематичны.

Следует еще добавить, что на значительном протяжении юго-западного склона вала Шатского майкопские отложения, ограниченные сверху сейсмическим горизонтом Ia, выклиниваются, появляясь вновь на своде вала, но имея здесь сокра-

щенную мощность (рис. 8). Таким образом, конседиментационное формирование флексуры, сочленяющей вал Шатского с Восточно-Черноморской впадиной, начавшееся, по нашим представлениям, в палеоцене – эоцене, продолжилось в олигоцене – раннем эоцене. На соединительном крыле флексуры происходил размыв осадков. Аналогичные процессы размыва отложений происходят на современном континентальном склоне.

ОПОРНЫЙ ГОРИЗОНТ I (ПОДОШВА ВЕРХНЕГО МИОЦЕНА)

Толща осадочного выполнения Черноморской впадины, лежащая выше кровли майкопской серии, в сейсмической записи отличается многочисленностью практически горизонтально наложенных отражений. Среди них самым выдержанным и динамически наиболее сильным оказался горизонт B, сопоставленный с подошвой антропогена. Между ним и горизонтом Ia был выделен еще один выразительный отражающий горизонт I (рис. 9).

На временном разрезе сейсмического профиля 18163 (рис. 5, разрез 5) горизонт I был намечен по привязке к подошве плиоцена в шельфовой скважине Игнеада. Надо заметить, что опубликована лишь стратиграфическая разбивка этой скважины, без какого-либо фактического ее обоснования (Foos, Mannheim, 1975). И сам отражающий горизонт I на временном разрезе прослежен не совсем уверенно. Не вполне определенной остается также и корреляция его с разрезом скв. 380A DSDP, где он проводится приблизительно на глубине 1000 м под дном моря. Вообще в западной части моря, где мощность отложений, заключенных между горизонтами I и B, сокращается в несколько раз (Альбом структурных..., 1989), прослеживание горизонта I по временным разрезам становится весьма неточным. Здесь вполне вероятно выпадение из разреза нескольких свит плиоцена и верхнего миоцена и в связи с этим “сползание” горизонта I на более глубокий стратиграфический уровень. Поэтому на всех записанных в этой акватории временных разрезах сейсмических профилей горизонт I проведен в известной мере условно, либо не прослеживается вовсе (рисунки 5 и 6).

На Керченско-Таманский шельф горизонт I, по сути дела, экстраполирован из прилегающей суши, ориентируясь на залегание там кровли известняков сарматского яруса. Будучи выведен в глубоководную акваторию за пределы развития складок, он прослеживается вдоль свода вала Шатского, несколько выделяясь интенсивностью записи среди смежных с ним отражающих поверхностей. В складчатой зоне Туапсинского прогиба опорный горизонт I удалось выделить по

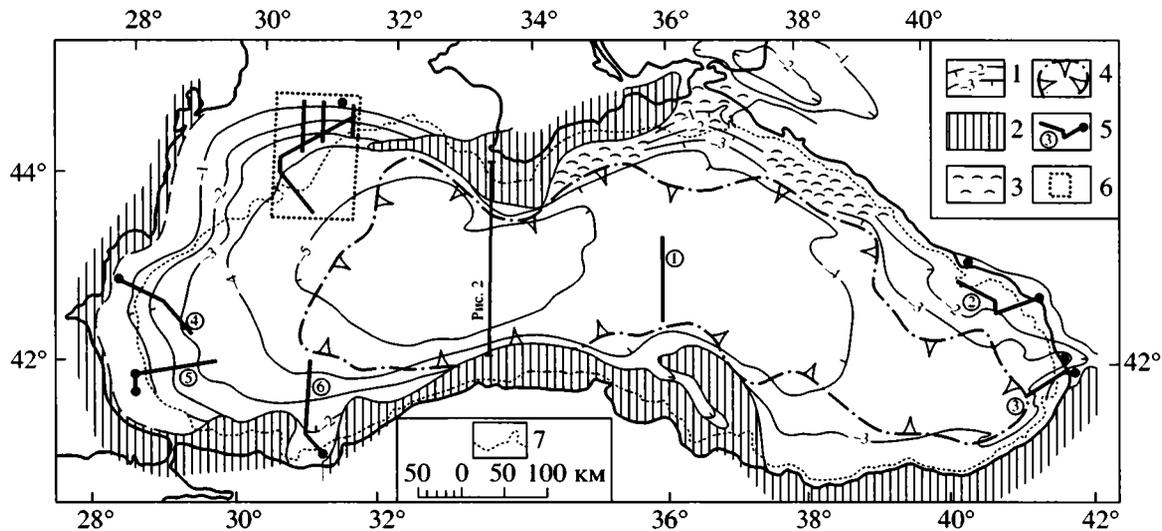


Рис. 9. Карта распространения отражающего горизонта I (подошва верхнего миоцена) в Черноморской впадине.

1 – изолинии по подошве верхнего миоцена, км; 2 – области отсутствия отложений верхнего миоцена – плиоцена; 3 – зоны складчатых деформаций неогена в прогибах; 4 – контур площади непрерывной корреляции отражающего горизонта I в глубоководной акватории; 5 – линии сейсмических профилей, схематизированные временные разрезы которых изображены на рисунках 4 и 6; 6 – площадь, в пределах которой коррелированы временные разрезы сейсмических профилей, изображенные на рис. 5; 7 – бровка шельфа.

сейсмическим профилям высокочастотной модификации МОВ, проследив его вдоль осей синклиналей. Далее к юго-востоку, в пределах Гудаутского и Очамчирского сводов этот горизонт в первом приближении увязывается с подошвой мэотиса, вскрытой береговыми скважинами Пицунда 2 и Очамчире 4 (рис. 4, разрез 2).

В районах Юго-Западной Грузии, прилегающих к Черному морю, мэотис ложится на породы различного возраста, до меловых включительно. На юге Колхидской впадины мощности отложений мэотиса–плиоцена, в отличие от района Очамчирского свода, резко возрастают. Подошва мэотиса в скважине Леса 1 вскрыта на глубине около 2.5 км, в скв. Малтаква 3 не достигнута на глубине 3.5 км, в скв. Супса 32 вскрыта на глубине 4 км. Горизонт I, хоть и не очень точно проведенный в акватории Гурийского прогиба, все равно оказывается достаточно близок к вскрытой скважинами подошве мощной толщи мэотиса–плиоцена, к которой он отнесен. Также и по временному разрезу сейсмического профиля, пройденного вдоль юго-восточного борта Гурийского прогиба, опорный горизонт I довольно близко соотносится с подошвой мэотиса, вскрытой береговой скважиной Чолоки 3 (рис. 4, разрез 3).

Таким образом, выделенные отдельные участки отражающего горизонта I, набравшиеся постепенно по ходу съемок Черноморской впадины с запада на восток, по завершении всех работ были еще раз пересмотрены и увязаны уже в обратном направлении от грузинского сектора моря на запад. При этом выяснилось, что на большей части

глубоководной акватории горизонт I прослеживается уверенно и непрерывно по всем имеющимся сейсмическим профилям (рис. 9). На окраинах глубоководной впадины четкость и уверенность проведения опорного горизонта I уменьшается, так как он временами теряет непрерывность и выразительность записи. Тем не менее, по всем упомянутым шельфовым и береговым скважинам горизонт I приблизительно увязывается с границей мэотис-сармат, т.е. находится вблизи подошвы верхнего миоцена.

ОПОРНЫЙ ГОРИЗОНТ В (ПОДОШВА АНТРОПОГЕНА)

Отражающий горизонт В, выделенный в начале 60-х годов прошлого века на первых сейсмических профилях МОВ к югу от Крыма (Гончаров и др., 1972), он к 1975 году был прослежен почти до местоположения глубоководной скважины 380/380А DSDP, пробуренной в том же году.

По первоначальному расчленению разреза скважины подошва антропогена намечалась на глубине около 840 м под дном (Ross et al., 1975), что примерно соответствовало глубине залегания отражающего горизонта В. Однако при дальнейшей обработке кернов стратиграфический разрез скважины был пересмотрен. Основываясь на обильной, но эндемичной флоре диатомей, А.П. Жузе и В.В. Мухина определили подошву антропогена на глубине всего 660 м, а нижележащую толщу до глубины 840 м отнесли к плиоцену и понту (Геологическая история..., 1980; Initial Reports...,

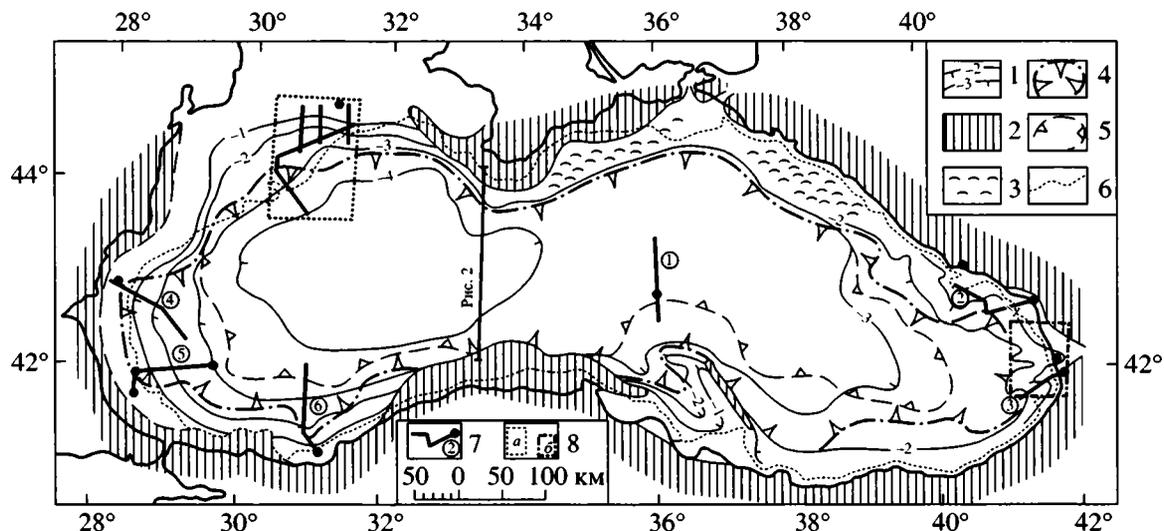


Рис. 10. Карта распространения отражающих горизонтов В (подошва антропогена) и Б (внутри толщи антропогена) в Черноморской впадине.

1 – изолинии по подошве антропогена, км; 2 – области отсутствия или малой мощности отложений антропогена; 3 – зоны складчатых деформаций антропогена в прогибах; 4 – контур площади непрерывной корреляции отражающего горизонта В в глубоководной акватории; 5 – то же горизонта Б; 6 – бровка шельфа; 7 – линии сейсмических профилей, схематизированные временные разрезы которых приведены на рисунках 4 и 6; 8а – площадь, в пределах которой коррелированы временные разрезы сейсмических профилей, изображенные на рис. 5; 8б – часть восточного замыкания Черноморской впадины, изображенная на рис. 11.

1978). В 1978 году началась систематическая съемка глубоководной акватории, проводившаяся постепенно с запада на восток. Исполнители этих работ (Е.М. Хахалев и др.) приняли за основу новую разбивку разреза скважины 380/380А и выделили отражающий горизонт Б, плохо следившийся на временных разрезах в районе скважины, но примерно отвечавший вновь предположенной подошве антропогена.

После того, как вся глубоководная акватория была покрыта достаточно густой сетью сейсмических профилей ОГТ, опорный горизонт В коррелируется уверенно и непрерывно почти по всей ее площади (рис. 10). Отражающий горизонт Б тоже следится непрерывно, но на заметно меньшей площади; в частности, в районе скважины 380 DSDP записывается уже нечетко.

Для максимально точной увязки разреза скважины 380/380А с временными разрезами, ее местоположение было пересечено целым пучком профилей ОГТ (рис. 1), а также сейсмоакустических профилей, которые обладали высокой разрешающей способностью, но записывали разрез не глубже 1 с. На основании всех данных по литологии, измерениям скорости звука в керне и т.д., для района скважины была построена детальная кривая средних скоростей сейсмических волн. По этой кривой колонка скважины перестроена во временной масштаб и графически совмещена с временным разрезом (Горшков и др., 1993).

В литологическом разрезе скв. 380/380А имеется очень отчетливая граница, где толща различных илов, рыхлых глин, мергелей, озерного мела, изобилующая скелетами диатомовых водорослей, постепенно и медленно уплотняющаяся по мере погружения, на глубине 840 м под дном сменяется литифицированными тонкосланцеватыми черными глинами. Около этой резкой литологической границей находится ясно выраженный отражающий горизонт В, хорошо следящийся по всем профилям. В интервале глубин 864–883 м под глинами вскрыта оползневая брекчия, состоящая из обломков мергелей и известняков со строматолитами, сцементированных карбонатным, преимущественно доломитовым матриксом. А глубже до забоя вновь идут такие же темные литифицированные глины, чередующиеся с тонкослоистыми мергелями, известняками, доломитами.

Когда опорный горизонт В был закартирован по всей площади Черноморской впадины, обнаружили дополнительные признаки, указывающие на вероятную приуроченность его к подошве отложений антропогена. Так, на северо-западе горизонт В подстилает мощную толщу клиноформ, слагающих авандельту и подводные конуса выноса Дуная (рис. 6). Эта толща вероятнее всего начала формироваться лишь в антропогене, так как до конца плиоцена Дунай впадал в обширное Внешнекарпатское озеро (Онческу, 1960), в котором и отлагался весь или почти весь твердый его сток.

банский прогиб, отличающийся большой мощностью верхнемиоценовых – плиоценовых отложений (Горшков и др., 1989), в начале антропогена также практически оказался компенсированным, и твердый сток палео-Кубани и частично палео-Дона пошел в Черноморскую впадину.

В Западной Грузии южная часть Колхидской впадины, интенсивно погружавшаяся в верхнем миоцене–плиоцене, продолжала опускаться и в антропогене. В скважине Малтаква 3 подошва антропогена вскрыта на глубине 1300 м, а скв. 89 в районе Супсинской антиклинали не вышла из антропогеновой толщи при глубине забоя более 1500 м. В акватории отражающий горизонт В вблизи грузинского побережья прослеживается не совсем точно (рис. 10), но все же по сетке сейсмопрофилей ОГТ, увязанных друг с другом, его удалось откартировать достаточно уверенно. Оказалось, что глубина залегания его в акватории близко соответствует положению подошвы антропогена в упомянутых береговых скважинах (рис. 11).

Непрерывное прослеживание отражающего горизонта Б от скв. 379 DSDP почти до самой скв. 380 (рис. 10) также указывает на то, что положение подошвы антропогена в разрезе скв. 380/380А, предложенное А.П. Жузе и В.В. Мухиной, завышено. Скв. 379 не вышла из антропогена. Между тем, в ее районе отражающий горизонт Б залегает вблизи ее забоя (рис. 4, разрез 1).

Здесь уместно напомнить, что расчленение разреза скважины 380/380А по А.П. Жузе и В.В. Мухиной не было строго обоснованным. Так, Д. Росс отметил, что по имеющимся палеонтологическим данным в настоящее время невозможно установить согласованную стратиграфию вскрытых толщ (Initial Reports..., 1978, р. 17). Г.И. Шрадер (там же, р. 850) и В.Н. Семенов (1984) считали, что эндемичные диатомеи, обнаруженные в кернах скважины, не дают основания для сколько-нибудь определенной стратиграфической разбивки ее разреза. Все это привело нас к заключению, что опорный отражающий горизонт В соответствует подошве антропогена. Этот вывод мы кратко обосновали в 1985 году (Туголесов и др., 1985).

Двумя годами позже были опубликованы результаты изучения нанопланктона из керна скважины 380/380А (Головина и др., 1987). Авторы этой работы отмечают, что нанопланктон является единственной зональной группой ископаемых в черноморских глубоководных осадках (поскольку планктонные фораминиферы в керне не найдены, а диатомеи оказались эндемичными). Однако в керне скв. 380/380А нанопланктон встречается более или менее постоянно лишь до глубины 480 м. Ниже обнаружен только в интер-

вале 840–884 м и представлен монотиповой нанофлорой *Braarudosphaera bigelowi*.

Стратиграфического значения она не имеет (юра – антропоген), но определяет условия палеобассейна как морские, слабоопресненные. Диатомеи, содержащиеся в изобилии по всему интервалу керна от 660 м до 860 м, также фиксируют наличие солоноводных форм в нижней его части (глубже 840 м) и быструю смену их вверх по разрезу слабосоленоводными и пресноводными формами. При таком совпадении данных по диатомеям и нанопланктону, граница смены режима палеобассейна “приобретает значение надежного репера для корреляции глубоководных осадков и наземных разрезов. Корреляция сводится к поиску в наземных разрезах уровней, отвечающих аналогичным существенным перестройкам в палеогеографии неогенового Восточного Паратетиса, и ограничивается двумя вариантами” (Головина и др., 1987, с. 43). Первый вариант подобной смены известен на суше в нижней части отложений понта. В частности, автохтонный солоноводный нанопланктон установлен этими авторами в разрезах понта Тамани и вблизи Одессы. Но, учитывая наши построения, они в качестве рабочей гипотезы указывают и второй возможный вариант корреляции. В неогеновой истории Понто-Каспия известен еще только один подобный рубеж смены морских условий осадконакопления на опресненные – это граница акчагыла и апшерона, и только один период формирования морских диатомей – акчагыл. При этом авторы отмечают, что почти все виды диатомей, обнаруженные в интервале керна 840–884 м, известны в акчагыле и более молодых отложениях Понто-Каспия (Головина и др., 1987).

Очевидно, что этот вариант совпадает с предложенной нами стратификацией горизонта В и является наиболее вероятным определением его возраста.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Особенности строения Черноморской впадины, почти целиком лежащей в пределах глубоководной акватории, определили специфику изучения и стратиграфического расчленения выполняющей ее мощной осадочной толщи. Вследствие большой глубины моря основная информация о геологическом строении впадины получена в виде временных разрезов сейсмических профилей.

На суше стратиграфия осадочной толщи исследуется на горнопородном материале разрезов обнажений и буровых скважин. В глубоководной акватории Черного моря таких опорных разрезов нет. Зато непрерывность сейсмической записи позволяет гораздо подробнее определить особен-

ности залегания толщ и проследить отдельные горизонты на большие расстояния.

Стратиграфическое расчленение осадочных образований Черноморской впадины выяснилось путем сопоставления временных разрезов между собой и с геологическими разрезами редких скважин, пробуренных на побережье и на различных участках шельфа. Уточнению корреляции опорных горизонтов способствовало выявление характерных особенностей строения осадочной толщи, таких, как подводные конуса выноса, складки нагнетания, специфические зоны выклинивания свит, связанные с палеосклонами глубоководных впадин и т.д.

В процессе этих сопоставлений установлено, что наиболее мощный и полный разрез кайнозойского осадочного выполнения впадины находится в глубоководной части моря. В ней зафиксированы и наиболее выдержанные, непрерывно прослеживаемые опорные отражающие горизонты. Это обстоятельство при дальнейших исследованиях периферийных акваторий Черного моря диктует необходимость прослеживания сейсмических горизонтов из абиссальной зоны на континентальный склон, а в некоторых случаях и на шельфы для уточнения стратиграфического расчленения разрезов кайнозойских отложений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Гаркаленко И.А., Пустильников М.Р., Корсаков О.Д. и др. Результаты геолого-геофизических работ и направления дальнейших исследований на нефть и газ на акватории южных морей СССР // Обзор сер. XIII. Морская геология и геофизика. М.: ВИЭМС, 1976. 59 с.
- Горшков А.С., Мейснер Л.Б., Соловьев В.В., Туголесов Д.А. Альбом структурных карт и карт мощностей кайнозойских отложений Черноморской впадины. Масштаб 1 : 1 500 000 / Ред. Туголесов, Д.А. М.: ГУГК, 1989.
- Горшков А.С., Мейснер Л.Б., Соловьев В.В., Туголесов Д.А. Пояснительная записка к альбому структурных карт и карт мощностей кайнозойских отложений Черноморской впадины. Масштаб 1 : 1 500 000 / Ред. Туголесов Д.А. Геленджик: ГП НИПИОкеангеофизика, 1993. 71 с.
- Геологическая история Черного моря по результатам глубоководного бурения. М.: Наука, 1980. 202 с.
- Головина Л.А., Музылев Н.Г., Ушакова М.Г. Нанопланктон и варианты стратиграфической интерпретации разреза скважины 380/380А в Черном море // Бюл. Комиссии по изуч. четвертичн. периода. 1987. № 56. С. 36–44.
- Гончаров В.П., Непрочнов Ю.П., Непрочнова А.Ф. Рельеф дна и глубинное строение Черноморской впадины. М.: Наука, 1972. 158 с.
- Дачев Хр., Станев В., Боков П. Результаты исследований болгарского сектора Черного моря и сопредельных районов суши // Строение и эволюция земной коры и верхней мантии Черного моря. М.: Наука, 1989. С. 163–185.
- Жижченко Б.П. Методы стратиграфических исследований нефтегазоносных областей. М.: Недра, 1969. 373 с.
- Мейснер Л.Б., Туголесов Д.А. Туапсинский прогиб – впадина с автономной складчатостью // Геотектоника, 1998. № 5. С. 76–85.
- Мейснер Л.Б., Туголесов Д.А., Хахалев Е.М. Западно-Черноморская грязевулканическая провинция // Океанология. 1996. № 1. С. 119–127.
- Онческу Н. Геология Румынской Народной республики. М.: Изд-во иностр. лит. 1960. 521 с.
- Семененко В.Н. Плиоценовый отдел // Геология шельфа УССР. Стратиграфия. Киев: Наукова думка, 1984. С. 141–153.
- Туголесов Д.А., Горшков А.С., Мейснер Л.Б. и др. Тектоника мезо-кайнозойских отложений Черноморской впадины М.: Недра, 1985. 215 с.
- Туголесов Д.А. Геоморфология склонов Черноморской впадины как поисковый критерий залежей углеводородов // Разведка и охрана недр. 1994. № 8. С. 10–13.
- Туголесов Д.А., Горшков А.С., Мейснер Л.Б. Древние склоны Черноморской впадины и связанные с ними перерывы и несогласия // Geol. Balcanica. 1990. V. 20. № 1. С. 3–18.
- Foos K.M., Manheim F. Geology of Bulgaria: a Review // Bul. Amer. Assoc. Petrol. Geol. 1975. V. 59. № 2. P. 303–335.
- Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project. Leg 42. 1978. V. XLII, Pt. 2. 1244 p.
- Mud volcanism in the Mediterranean and Black Seas and shallow structure of the Eratosthenes Seamount // UNESCO Reports in Marine Science. 64. UNESCO, 1994.
- Ross D., Neprochnov J., Hsu T. et al. Glomar Challenger drills in Black Sea // Geotimes. 1975. V. 20. № 10. P. 23–28.

Рецензенты А.Е. Шлезингер, Ю.Б. Гладенков