

## СЕЙСМОСТРАТИГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ ВАЛА ШАТСКОГО (ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ПЕРЕОБРАБОТКИ МОРСКИХ СЕЙСМОРАЗВЕДОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРЕЖНИХ ЛЕТ)

А.А. Пудовкин, А.В. Хортов  
(ООО «Геотехсистем»)

Переобработка и переинтерпретация морских сейсмических материалов, полученных в разные годы в пределах российского шельфа Черного моря (вала Шатского), позволили подтвердить и детализировать его строение, определить первоочередные объекты поисков УВ. Использование пакетов программ обработки сейсмических данных (Велинг фирмы «Геотехсистем» и Интеграл Плюс — CGG) обеспечивает значительное повышение информативности имеющихся материалов.

Reprocessing and further reinterpretation of marine seismic data acquired throughout the years within the Russian sector of the Black Sea (Shatsky ridge) have permitted to confirm its structure and provided a more detailed view, to single out the most promising prospects for hydrocarbons. The use of modern software packages for seismic data processing (Velink by GeoTechSystem) and interpretation (Integral Plus by CGG) permits to enrich the information content obtained from the existing data.

**Задачи исследований.** Анализ сейсмической информации преследовал две цели:

- 1) изучение геологического строения мезозоя вала Шатского;
- 2) выявление наиболее перспективных в нефтегазоносном отношении структур.

**Исходные данные.** На начальном этапе анализа была выбрана регионально-рекогносцировочная сеть профилей, охватывающая основные структурно-тектонические зоны (рис. 1). Наибольший объем регионально-рекогносцировочных и детально-поисковых исследований на северо-восточном шельфе с использованием современных систем наблюдений был проведен в 1980-х — начале 1990-х гг. трестом Южморнефтегеофизика. Качество остальных использованных в работе сейсмических данных резко варьирует в пределах площади исследований. Это связано с тем, что профили отрабатывали в разные годы с использованием различных систем наблюдений, регистрирующей аппаратуры и графов последующей обработки данных. Общий объем проинтерпретированных данных составил 7000 пог. км. Лучшим качеством характеризуются профили, отрабатанные в конце 1980-х — начале 1990-х гг. трестом Южморнефтегеофизика. Они расположены в пределах западной и восточной периферии вала Шатского. Профили по объектам 51/89, 52/89 и 40/91, выполненные с использованием 96-канальной косы длиной 2400 м плюс 400 м выноса и обработанные по наиболее современному графу, позволили в значительной мере расшифровать сложное волновое поле и углубить представления о строении мезозоя северо-восточного шельфа Черного моря. Кроме профилей, показанных на рис. 1, также использованы региональные профили более ранних лет ПО

Южморгеология, позволившие создать каркасную сеть.

Используемые пакеты обработки и интерпретации. Для построения геолого-геофизических моделей принципиально важно расшифровать внутреннюю структуру выявленных поднятий. При этом достоверность геологических построений во многом определяется качеством обработки исходного материала.

Выполненные в прежние годы процедуры обработки морских данных по стандартному графу (системы СЦС-3, Promax), к сожалению, не дали жела-

емых результатов. На временных разрезах в мезозойском интервале (ниже 4,5 с) оставались кратные волны, образованные отражениями от дна (второе "дно") и от берега ("боковые"). Таким образом, при решении принципиальных вопросов сейсмостратиграфии необходима обработка каркасной сетки в интерактивном режиме. Для нескольких профилей такая переобработка была выполнена с использованием пакета программ Велинг (рис. 2).

Интерактивная система Велинг предназначена для достоверного определения глубинно-скоростной модели среды. Поскольку правильность модели определяется не только способом решения обратной задачи, но и качеством исходных данных, система Велинг содержит функции, предназначенные для максимально точного вычисления кинематических параметров отраженных волн. Глубинно-скоростная модель, являясь самоценной, одновременно используется для дальнейших преобразований сейсмических данных (расчета и подавления кратных волн, глубинной миграции и т. д.). Имеющиеся в системе Велинг функции, связанные специальными технологиями обработки и снабженные возможностью численной проверки и интерактивного визуального контроля за результатами обработки, позволяют выполнять обработку сейсмических данных, полученных в сложных сейсмогеологических условиях. Тщательно выбранная скоростная модель, процедуры динамической глубинной миграции и другие специальные процедуры [5, 6] позволили получить разрезы, свободные от регулярных помех ("второе дно"), в том числе оставшихся после обработки по стандартному графу (см. рис. 2).

Полученные результаты позволили увереннее стратифицировать разрез вала Шатского и прогно-

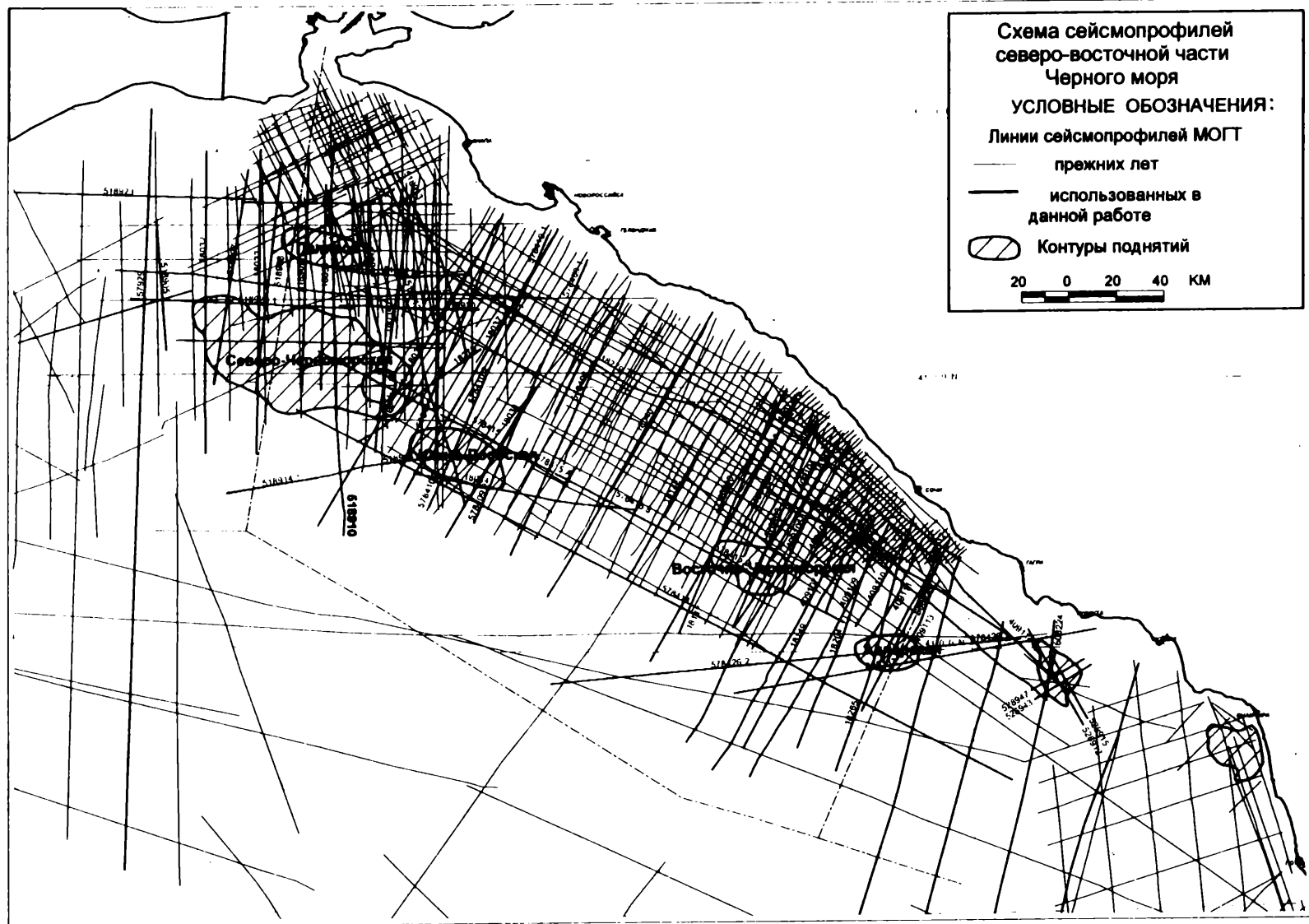
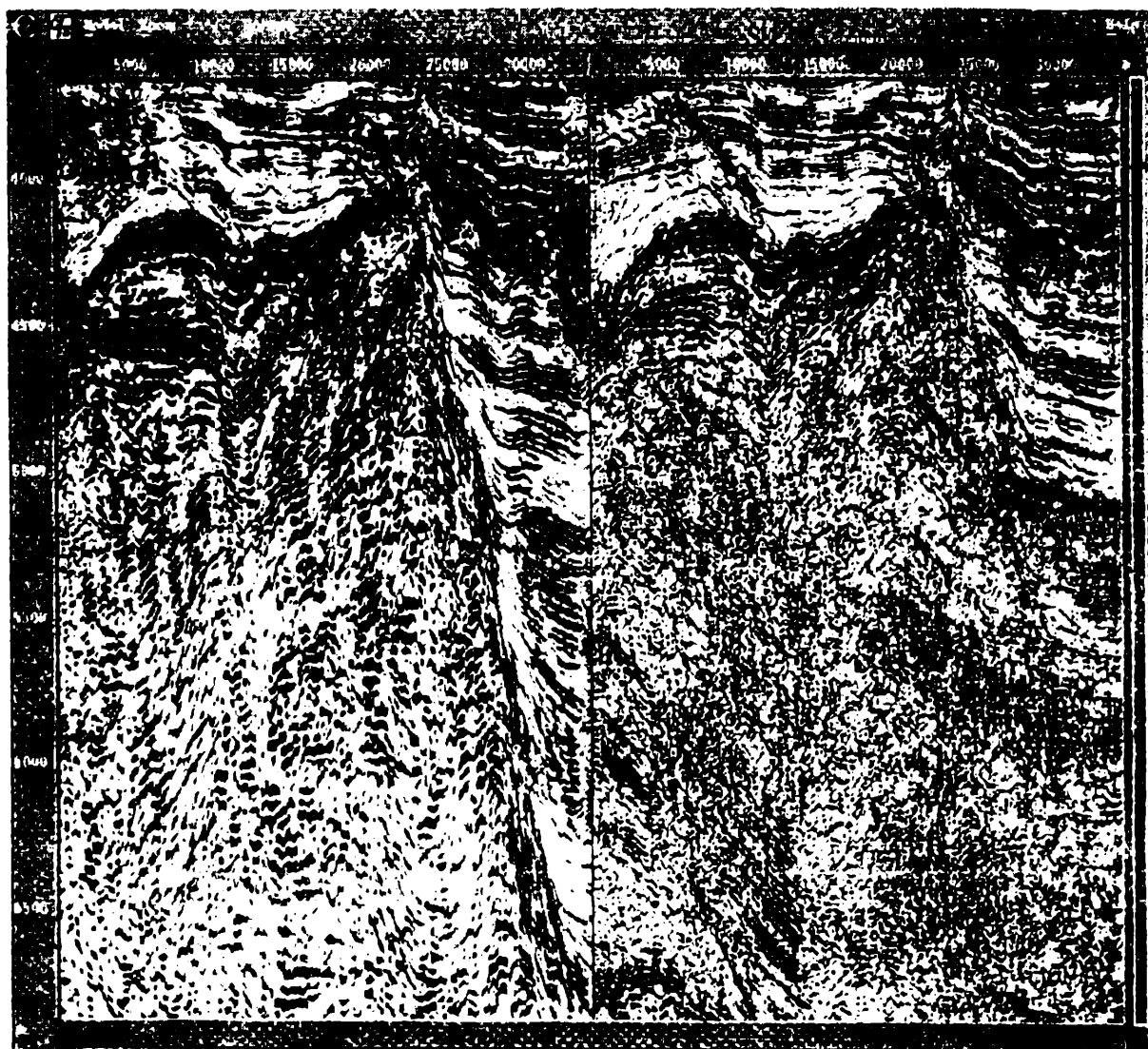


Рис. 1. Схема сейсмопрофилей северо-восточной части Черного моря



А

Б

Рис. 2. Фрагменты временного разреза, обработанного в интерактивном режиме (А) и по стандартному графу (Б). Разрез (А) в интервале 4,5...5,5 с иллюстрирует предполагаемые рифовые постройки, не выявленные на разрезе со стандартной обработкой

зировать состав пород. Корреляция и увязка основных отражающих горизонтов выполнены с использованием интерпретационного пакета программ Интеграл Плюс. Работа с временными разрезами осуществлялась в модуле сейсмической интерпретации, обеспечивающем большое дисплейное пространство (три 20" монитора), и набор, всех стандартных процедур:

- карты времен, градиентов, атрибутов;
- вращение фазы, фильтрация, расчет атрибутов;
- компенсация невязок в реальном времени;
- трехмерная визуализация;
- композиция разрезов.

После корреляции основных отражающих горизонтов выполнялись следующие операции:

- загрузка скоростей и их редакция;

- расчет отражающих границ и сеток скоростей;
- построение синтетической функции скорости и получение разреза со скоростными законами;
- преобразование время — глубина;
- построение глубинных разрезов, структурных карт и карт изопахит.

**Сейсмостратиграфический анализ.** Сопоставление данных МОВ и КМПВ показало, что каждому выделяемому отражающему горизонту по МОГТ соответствует преломляющий репер [12,14]. Однако поверхность фундамента намечается преимущественно по данным ГСЗ — КМПВ (6,3...6,8 км/с), так как на глубинах регистрации от 7,5 до 12 км полезные отражения по МОВ затушевываются многочисленными волнами-помехами.

Стратификация отражающих горизонтов основывалась на имеющихся данных бурения на прилегающей суше и данных морских скв. 380, 380-А, 302 — Рифовой.

Корреляцию выполняли по 10 основным отражающим горизонтам, для которых принята стратификация, приведенная в таблице.

Отражающий горизонт (индекс)	Стратиграфическая приуроченность
B	Подошва четвертичных отложений
I	Подошва плиоцена
IA	Кровля майкопских отложений
IIa	Кровля эоцена
IIб	В толще палеоцен-эоцена
III	Кровля верхнего мела
H	Горизонт несогласия, маркирующий разновозрастную поверхность на склонах впадины (на поверхности вала переходит в горизонт IIa)
IV	Кровля нижнего мела
V	Кровля верхней юры
VI	Поверхность раздела верхней и средней юры

Следует отметить, что стратификация опорных горизонтов основывается на общегеологических представлениях о строении района с использованием результатов бурения скважин на суше и шельфе прилегающих районов [3, 7, 8, 11, 13].

Для построения глубинно-скоростной модели были использованы также данные ВСП и СК по скважинам в районах Крыма, Кавказа и Предкавказья.

На временных разрезах в волновом поле отображаются отдельные сейсмостратиграфические комплексы, разделенные региональными поверхностями несогласия. По особенностям их залегания и прогнозным литолого-стратиграфическим характеристикам в районе исследования (вал Шатского — Гудаутский свод) осадочную толщу можно разделить на три сейсмокомплекса.

Нижний сейсмостратиграфический карбонатно-терригенный комплекс ограничен в кровле отражением IIa (III, H) и включает в себя интервал, соответствующий отложениям от нижней юры до эоцена включительно. Подошва комплекса не определена и отождествляется с подошвой осадочного чехла, залегающего непосредственно на метаморфических породах домелового (?) фундамента, поверхность которого выделяется по материалам КМПВ прежних лет [14]. Внутри нижнего сейсмокомплекса фрагментарно выделяются три подкомплекса. Они разделяются IV, V и VI отражающими горизонтами, отождествляемыми соответственно с кровлей нижнемеловых, верхнеюрских и ниже-среднеюрских отложений (рис. 3). По характеру волнового поля ниже-среднеюрский сейсмокомплекс отображается хаотической записью, что, по нашему мнению, связано с вулканогенными породами. Его поверхность ограничивается горизонтом VI. Этот горизонт, отождествляемый с поверхностью вулканогенных по-

род [4], динамически слабо выражен и неуверенно прослеживается лишь в пределах локальных поднятий, осложняющих поверхность вала Шатского. Так, на поднятии Палласа, а также на Северо-Черноморском, Южно-Дообском и Адлерском временной интервал регистрации горизонта VI изменяется в среднем от 6,0 до 8,3 с. Он наиболее выдержан по площади на юго-востоке, в пределах Гудаутского свода, на Гудаутском и Очамчирском поднятиях. Здесь горизонт регистрируется на временах 2,5...3,2 с при скорости суммирования 3500 м/с.

Горизонт V также выделяется с достаточной степенью условности в пределах вала Шатского и более уверенно на поднятиях (Палласа, Северо-Черноморском, Южно-Дообском, Адлерском). Интервал его регистрации колеблется от 4,3 до 6,6 с. На Гудаутском своде горизонт V прослеживается в виде протяженных осей синфазности на временах 2,0...4,5 с практически без потери корреляции.

Холмообразный, прерывистый характер записи в интервале между VI и V горизонтами близок по волновой картине мелководно-карбонатным образованиям типа барьерных рифов или одиночных построек. На это указывают следующие поисковые признаки:

присутствие хаотически ориентированных непротяженных отражающих площадок внутри тела рифа;

ослабление амплитуды отражений в контуре рифа в сравнении с отражениями за его пределами [10, 11, 15]. Это позволяет предположить наличие верхнеюрских рифогенных построек, достраивающих вулканогенное основание [1, 9, 10].

Горизонт IV маркирует кровлю нижнемеловых отложений. По аналогии с Северо-Западным Кавказом [2] и по характеру записи волнового поля можно предположить, что нижнемеловые породы имеют преимущественно карбонатный состав. Выделяемый (как и предыдущие горизонты) в большей степени интуитивно, по смене типов записи волнового поля, этот репер прослеживается по изменению частотного состава сейсмической записи. Он имеет несогласное залегание осей синфазности, с резким затуханием их и возникновением новых. Его прослеживание, так же как и для предыдущих горизонтов, ограничено контурами вала Шатского.

Отражающий горизонт III фиксируется на временных разрезах как граница с наибольшей амплитудой, обладающая акустической жесткостью. Это позволяет связывать ее с известняками верхнего мела и стратифицировать как кровлю верхнего мела.

Горизонт IIa, выделяемый повсеместно на площади исследования и за ее пределами, отождествляется с поверхностью эоценовых отложений. Зарегистрированный в виде трехфазного, высокоамплитудного, относительно низкочастотного колебания, горизонт IIa на поднятиях вмещает в себя отражения от палеоцена и верхнего мела. В среднем по площади в пределах вала Шатского интервал регистрации этого горизонта колеблется от 4,5 до 8 с. На Гудаутском своде горизонт прослеживается на временах 1,7...4,5 с. В глубоководной части под горизонтом IIa

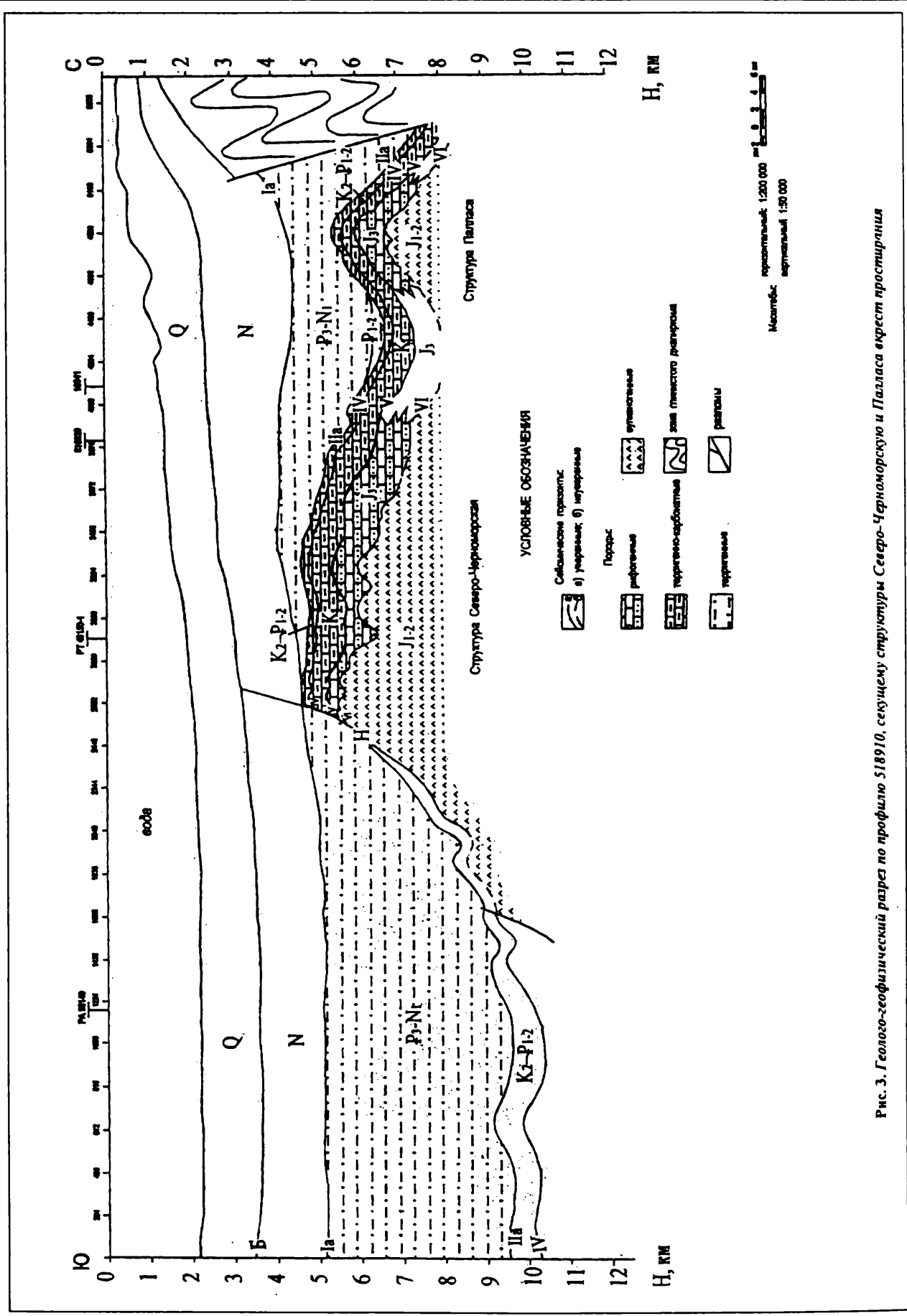


Рис. 3. Геолого-геофизический разрез по профилю 5189/0, секущему структуры Северо-Черноморскую и Паласа вкост простирания

так же динамически резко выделяется горизонт Пб, связанный с кровлей палеоцена.

Средний сейсмостратиграфический комплекс, представленный преимущественно глинистыми отложениями майкопского возраста, ограничен в разрезе горизонтами Па и Ia. Залегание этого комплекса изменяется от складчато-дислоцированного в прибрежно-шельфовой зоне Туапсинского прогиба до характерного залегания глубоководной толщи заполнения Восточно-Черноморской впадины. В связи с этим временные отметки его поверхности (горизонт Ia) изменяются в среднем от 0,5 до 5,5 с. Выделенный на таманском шельфе еще в 1960-е гг. по результатам первых сейсмосъемок, горизонт Ia был надежно «привязан» в начале 1990-х гг. к разрезу скважины Рифовой. На структурной карте кровли майкопа поверхность комплекса в районе исследования изменяется от первых десятков метров в сводовых частях диапиров до 3000 м в глубоководной части шельфа. Благодаря густой сети профилей горизонт Ia уверенно прослеживается повсеместно в пределах вала Шатского и далее в Восточно-Черноморской впадине. Иногда на прибортовых (склоновых) участках корреляция этого горизонта становится затруднительной. Это связано в основном с тем, что в склоновых частях разреза на его уровне появляются многочисленные клиноформы среднего и верхнего миоцена, затушевывающие отражения от поверхности кровли майкопской серии. Другая проблема выделения горизонта Ia в глубоководной части связана с тем, что на большинстве сейсмических разрезов, обработанных в прежние годы, присутствует кратная волна — «второе дно». Зачастую эти два отражения совпадают. В этом случае выделение поверхности майкопа (кровли майкопской серии) становится возможным лишь по поверхности характерной для нее прозрачной сейсмозаписи. В глубоководной части горизонт залегает практически горизонтально, комфортно с вышележащими горизонтами, среди которых наиболее ярко выражены горизонты В и I.

Проблематично выделение границы флиша и глинистого майкопа в прибрежной зоне [16]. На ряде сейсмических профилей эта граница выглядит как разломная зона (см. рис. 3), разделяющая волновое поле складчатого майкопа и участки с характерной для флиша хаотической записью. Очевидно, что морское продолжение Новороссийского флишевого синклинария ограничено именно этой разломной зоной.

Верхний сейсмостратиграфический комплекс включает в себя четвертичный и среднемиоцено-плиоценовый интервалы разреза. Подошва комплекса ограничена отражением Ia, сюда входят и горизонт В, отделяющий четвертичный интервал, и горизонт Б внутри четвертичной толщи. Стратификация этих горизонтов проведена на основе сопоставления данных МОГТ с результатами бурения самой глубокой скважины в Черном море — 380-А [8]. Сопоставление разреза скважины на глубине 840 м с отражающим горизонтом В позволило предположить, что данный репер является подошвой антропогена.

Опорный горизонт В достаточно уверенно прослеживается по всей площади исследования. На временных разрезах он опознается по смене характерной для неогена горизонтальной, с частыми низкоамплитудными отражениями записи на косослоистую высокоамплитудную. Его временной интервал по площади вала Шатского изменяется от 2,4 до 4,5 с.

Менее уверенно выделяется горизонт I, отождествляемый с подошвой плиоценовых отложений. Как и горизонт В, он «вскрыт» скв. 380. При увязке с данными бурения на прилегающей к исследуемому району суше, этот горизонт прослеживается достаточно надежно со стороны Колхиды.

**Перспективы нефтегазоносности.** Следует отметить, что на структурных картах и геолого-геофизических профилях нашли подтверждение и локализованы основные структуры, осложняющие поверхность вала Шатского — Палласа, Северо-Черноморская, Южно-Дообская, Восточно-Черноморская, Адлерская, а также другие, меньшие по площади и амплитуде поднятия (рис. 1). Среди выделенных объектов, расположенных в восточной части вала Шатского, первоочередной интерес для поисков УВ представляет Восточно-Черноморская структура. Эта структура, выделяемая по изогипсе 4000 м с амплитудой более 300 м, находясь на пути миграции УВ, может являться хорошей ловушкой с высокочемким карбонатным коллектором. К сожалению, имеющийся регионально-рекогносцировочный сейсмический материал, не позволяет более детально изучить юрско-нижнемеловой интервал этого перспективного в нефтегазоносном отношении поднятия. Для более тщательного сейсмостратиграфического анализа здесь необходимо провести новую детальную-поисковую съемку.

На западной периферии вала Шатского, в пределах керченско-таманской части, среди выделенных структур наиболее крупными и высокоамплитудными являются поднятия Палласа и Северо-Черноморское. В центральной части вала наиболее перспективным представляется Южно-Дообское поднятие.

Все перечисленные структуры для юрско-нижнемелового интервала по ряду признаков могут являться объектами для первоочередного бурения. Исходя из результатов сейсмостратиграфического анализа, каждая из структур может быть рекомендована к опоскованию.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бендукидзе Н.С. Позднеюрские кораллы рифогенных отложений Кавказа и Крыма // *Тр. Геол. ин-та им. А.И. Дзюбелли АН ГССР. Новая серия.* — Тбилиси: Мецниереба, 1982. — Вып. 74. — 166 с.
2. Бурлин Ю.К. Литолого-фациальные особенности нижнемеловых отложений Северо-Западного Кавказа и Западного Предкавказья // *Тр. Комплексной Южной геол. экспедиции.* — 1961. — Вып. 6. — С. 301—394.
3. Бобылев В.В., Железняк В.Е., Шиманов Ю.В. Геология и нефтегазоносность шельфов Черного и Азовского морей. — М.: Недра, 1979. — 184 с.

4. Гамкрелидзе И.П. Основные черты тектонического строения и развития Кавказа // Проблемы нефтегазоносности Кавказа. — М.: Наука, 1988. — С. 33—41.  
 5. Глоговский В., Фиников Д. Кинематические фильтры миграционных преобразований реальных сейсмических наблюдений // Исследования и разработки нефтяной геофизики в странах-членах СЭВ. — М., 1987. — Т. 1. — С. 334—338.  
 6. Глоговский В., Мешбей В., Цейтлин М., Лангман С. Кинематико-динамическое преобразование сейсмической записи для определения скоростного и глубинного строения среды // Сб. докл. Второго науч. семинара стран-членов СЭВ по нефтяной геофизике. — М., 1982. — Т. 1. — С. 320—327.  
 7. Геологическая история Черного моря по результатам глубоководного бурения. — М.: Наука, 1980. — 202 с.  
 8. Геологическое строение Черноморской впадины / Д.А. Тугалесов, А.С. Горшков, Л.Б. Мейснер и др. // ДАН СССР. — 1983. — Т. 269, № 2 — С. 440—444.  
 9. Грачевский М.М., Кучерук А.С. Нефтегазоносность рифов Мирового океана. — М.: Недра, 1989. — 189 с.

10. Ильин В.Д., Фортунатова Н.К. Методы прогнозирования и поисков нефтегазоносных рифовых комплексов. — М.: Недра, 1988. — 300 с.  
 11. Маловицкий Я.П. Тектоника акваторий южных морей СССР и перспективы их нефтегазоносности: Автореф. докт. дис. — М., 1964. — 40 с.  
 12. Муратов М. В., Непрочнов Ю.П. Строение дна Черноморской котловины и ее происхождение // БМОИП, отд. геол. — 1967. — № 5. — С. 40—58.  
 13. Тугалесов Д.А. и др. Тектоника мезозойских отложений Черноморской впадины. — М.: Недра, 1985. — С. 212.  
 14. Непрочнов Ю.П. Глубинное строение земной коры под Черным морем по сейсмическим данным // Бюл. МОИП, отд. геол. — 1960. — Т. 35. — С. 30—35.  
 15. Сейсмическая стратиграфия / Пер. под ред. Н.Я. Кунина и Г.Н. Гогоненкова. — М.: Мир, 1982. — Т. 2. — С. 381—846.  
 16. Шимкус К.М., Шлезингер А.Е. Генетические типы геологических тел осадочного чехла (по материалам сейсмопрофилирования) // Бюл. МОИП, отд. геол. — 1984. — Т. 59, вып. 1. — С. 28—36.

УДК 550.834.3.05

## ПОЛЯРНОСТЬ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ЗАПИСИ

Р.Ф. Лукьянов

(Пермьнефтегеофизика)

При нормальном падении плоской упругой волны на отражающую границу (ОГ) энергетический коэффициент ее первого смещения ( $\Sigma A$ ) между проходящей ( $A_p$ ) и отраженной ( $A_{об}$ ) волнами распределится следующим образом [2, 3]:

$$\Sigma A = A_p + A_{об} = 1. \quad (1)$$

При этом

$$A_p = 2\rho_1 v_1 / (\rho_2 v_2 + \rho_1 v_1) = a_2 / a_0; \quad (2)$$

$$A_{об} = (\rho_2 v_2 - \rho_1 v_1) / (\rho_2 v_2 + \rho_1 v_1) = a_1 / a_0. \quad (3)$$

Произведения плотности ( $\rho$ ) на скорость ( $v$ ) называются «акустическими жесткостями» ( $\rho v$ ) или «акустическими сопротивлениями»;  $a_0$ ,  $a_1$ ,  $a_2$  — амплитуды падающего, отраженного и проходящего импульсов.

Из выражений (1)—(3) видно, что проходящий импульс смещения  $A_p$  никогда не меняет своего знака, при  $\Sigma A = +1$  всегда положителен. Пределы изменений энергетического коэффициента импульса смещения проходящей волны  $0 < A_p < 2$ . На поверхности земли при  $\rho_2 v_2 \rightarrow 0$  (воздух) смещение  $A_p$  удваивается ( $A_p \rightarrow 2$ ). При  $\rho_2 v_2 \gg \rho_1 v_1$   $A_p \rightarrow 0$  (экранирующий эффект).

Из формулы (3) следует, что для пластов с очень высокой акустической жесткостью ( $\rho_2 v_2 \gg \rho_1 v_1$ ),  $A_{об} \rightarrow 1$ , а при уменьшении жесткости ( $\rho_2 v_2 < \rho_1 v_1$ ) происходит смена поляризации (вступления) импульса ОВ, т. е. изменение полярности ОВ по отношению к падающей. Так, на поверхности земли возникающая крат-

Даны рекомендации по обеспечению идентичности полярности при регистрации сейсмических сигналов для взрывных (ударных) и вибрационных источников возбуждения.

Questions of seismic record polarity under normal elastic wave front drop on boundaries for earth and well observations are discussed. Recommendations for polarity identity reception during registration of seismic signals from explosive (impact) and vibration excitation sources are given.

ная ОВ всегда меняет свой знак. Для нее  $A_{об} \rightarrow (-1)$ , так как в воздухе  $\rho_2 v_2 \ll \rho_1 v_1$ .

Полярность сейсмических трасс можно регулировать за счет различных вариантов подключения элементов, входящих в цепочку регистрируемых или обрабатываемых систем сейсмических каналов. Не накладывая ограничений на отдельные элементы записывающих и воспроизводящих устройств сейсмической информации, руководящие документы (РД) устанавливают общие отличительные стандарты полярности для всей системы: источник возбуждения — регистрация — обработка [1, 4]. Так, для РД стандарта полярности SEG [1] принято, что импульсное движение корпуса сейсмоприемника вниз (растяжение) вызывает положительную последовательность выборок на магнитной записи и положительный импульс (максимум) при воспроизведении сейсмической трассы. Таким образом, для источников возбуждения взрыв, удар, вибратор направление первого смещения — сжатие — совпадает с направлением фронта распространения волны и при приходе к сейсмоприемнику на поверхности земли прямой волны будет регистрироваться отрицательный импульс (минимум).

Существуют и другие варианты стандартов полярности. Поэтому выражение (1) в общем виде можно представить как:

$$\Sigma A = A_{об} + A_p = (+1 \text{ или } -1). \quad (4)$$