

текумской свиты в перекрывающие отложения начались после переполнения преобладающей части нефтекумских ловушек. С этой точки зрения все складки в нефтекумской свите, независимо от возраста их образования, можно рассматривать как потенциально нефтемещающие.

Таким образом, повышение перспектив нефтеносности региона и эффективности поисково-разведочных работ следует связывать с прослеживанием складчатости в нефтекумских отложениях, определением точек перегибов гребней складок и их опробованием поисково-разведочным бурением. Для создания схемы складчатости региона по нефтекумским отложениям нужен только пересмотр уже имеющихся материалов пространственных работ.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Назаревич Б.П., Назаревич И.А., Швыдко Н.И. Биогермные нижнетриасовые постройки — новый тип природных

резервуаров нефти и газа в Восточном Предкавказье // *Современные проблемы геологии и геохимии горючих ископаемых*. — М.: Изд-во МГУ, 1982. — С. 90—103.

2. Самолётов М.В. Типы залежей углеводородов в триасовых отложениях восточной части Северо-Кавказско-Мангышлакской нефтегазоносной провинции // *Геология нефти и газа*. — 1981. — № 1. — С. 10—15.

3. О новом направлении поисково-разведочных работ на нефть и газ в Восточном Предкавказье в связи с поисками рифов в триасовых отложениях / А. С. Горкушин, Н. Ф. Фролов, В. В. Стасенков и др. // *Геология нефти и газа*. — 1974. — № 7. — С. 11—17.

4. Леньков Л.П. Сейсмостратиграфическая корреляция отложений нефтекумской свиты Восточного Предкавказья и перспективы ее нефтеносности в районе Величаевско-Максимокумского вала // *Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений*. — 2002. — № 7. — С. 51—53.

5. Петров Ал.А. Биометки и геохимические условия образования нефтей России // *Геология нефти и газа*. — 1994. — № 6. — С. 13—18.

## ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

УДК 550.834(26)

### НАБЛЮДЕНИЯ МОВ ОГТ НА МОРЕ С ДАТЧИКАМИ ДАВЛЕНИЯ В КОМПЛЕКСЕ С ПМ ВСП — ОСНОВА МОРСКОЙ МНОГОВОЛНОВОЙ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ

Ю. Д. Мирзоян, В. Я. Ойфа  
(ООО «Ингеосейс»)

Эффективность сейсморазведки определяется возможностью анализа волновых полей, типом и параметрами волн, используемых для интерпретации.

В практике морской сейсморазведки основным типом исследуемых волн являются продольные отраженные волны. В наземной сейсморазведке существуют методы, использующие другие типы волн. В последние 20...25 лет под руководством Н. Н. Пузырева активно развивался метод поперечных волн. Большой объем исследований был выполнен в методе обменных отраженных волн. В региональных исследованиях нашел применение метод проходящих волн. В каждом из существующих методов используется один тип волны. Для увеличения эффективности сейсморазведки и получения наиболее полных сведений об исследуемом геологическом разрезе необходима совместная обработка и интерпретация волн разных типов. Такое комплексирование волн разных типов получило название многоволновой сейсморазведки [4].

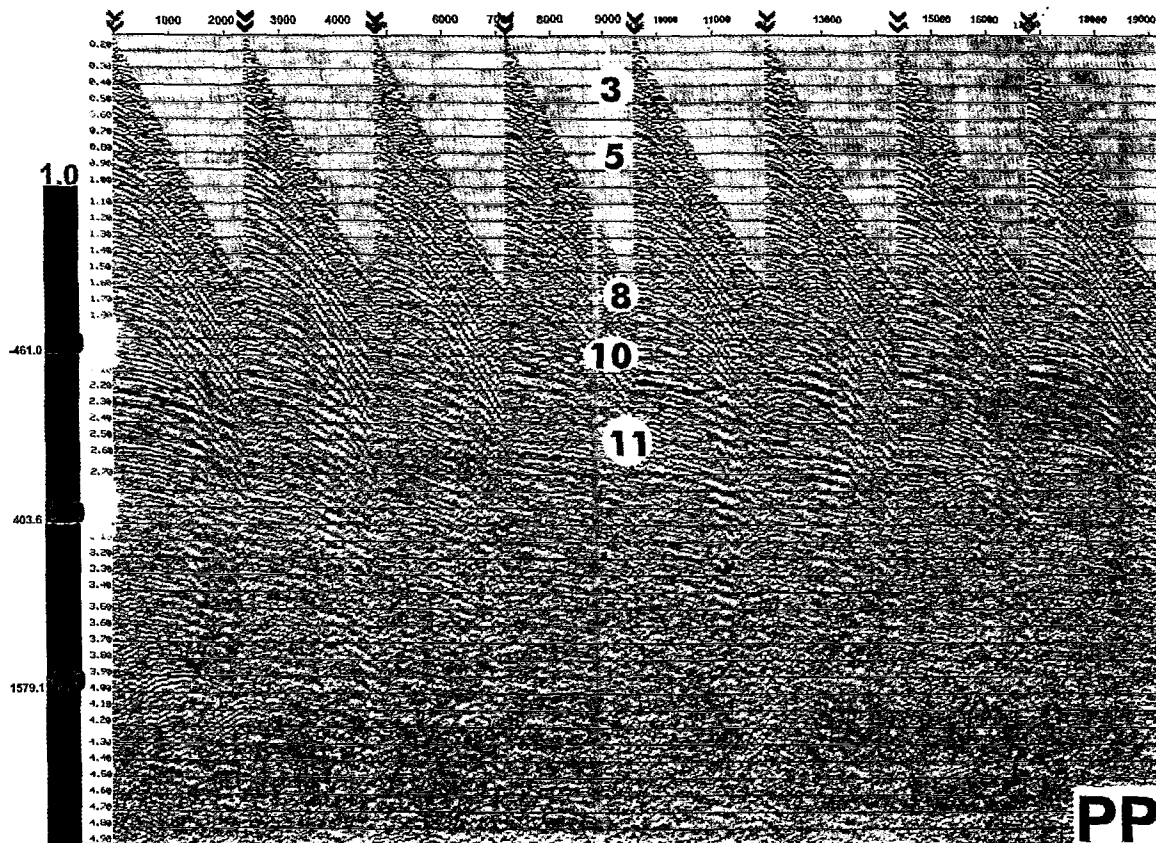
Многоволновая сейсморазведка основана на традиционном скалярном подходе к выделению и прослеживанию волн разных типов с использованием составляющей  $Z$  для продольных,  $X$  для обменных и

$Y$  для поперечных волн. Наиболее общим методом сейсморазведки является поляризационный, основанный на использовании всех параметров волнового поля — скорости, частоты и поляризации для анализа, выделения и прослеживания волн разной природы и типов с целью получения наиболее полной информации о среде [1].

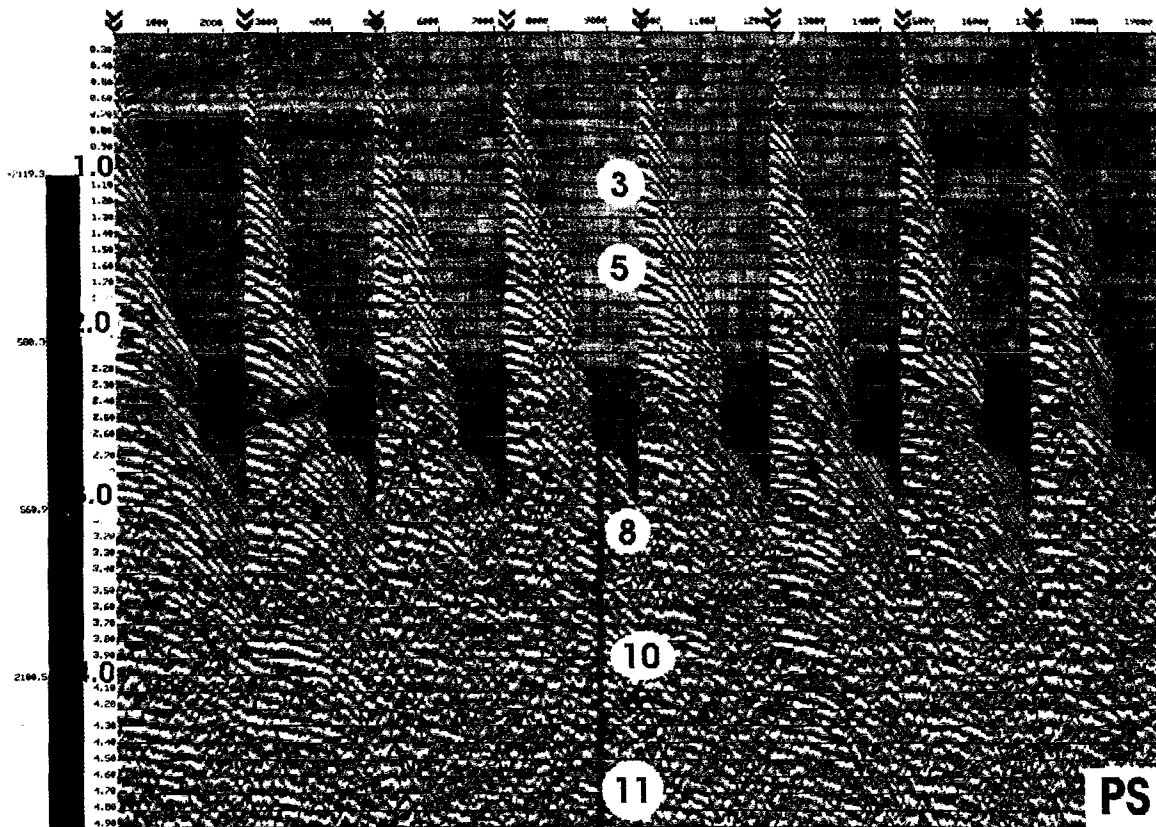
Однако на море, как известно, в водной среде поперечные волны не образуются. Поэтому в настоящее время начата разработка технологии донных трехкомпонентных наблюдений для регистрации волн разных типов и природы ( $P$ ,  $PP$ ,  $PS$ ) с целью их выделения, прослеживания и совместной интерпретации.

Наиболее широко эти работы проведены на шельфе Северного моря (фирмы CGG, «Shlumberger» и др.). Под руководством А. А. Архипова выполнены донные сейсмические исследования, направленные на совместное использование  $PP$  и  $PS$  волн на базе двухкомпонентной  $X$ ,  $Z$  регистрации. Векторные донные наблюдения также опробованы на акватории Азовского моря [2].

Естественно, что эти работы достаточно сложны, требуют ориентировки трехкомпонентных устано-

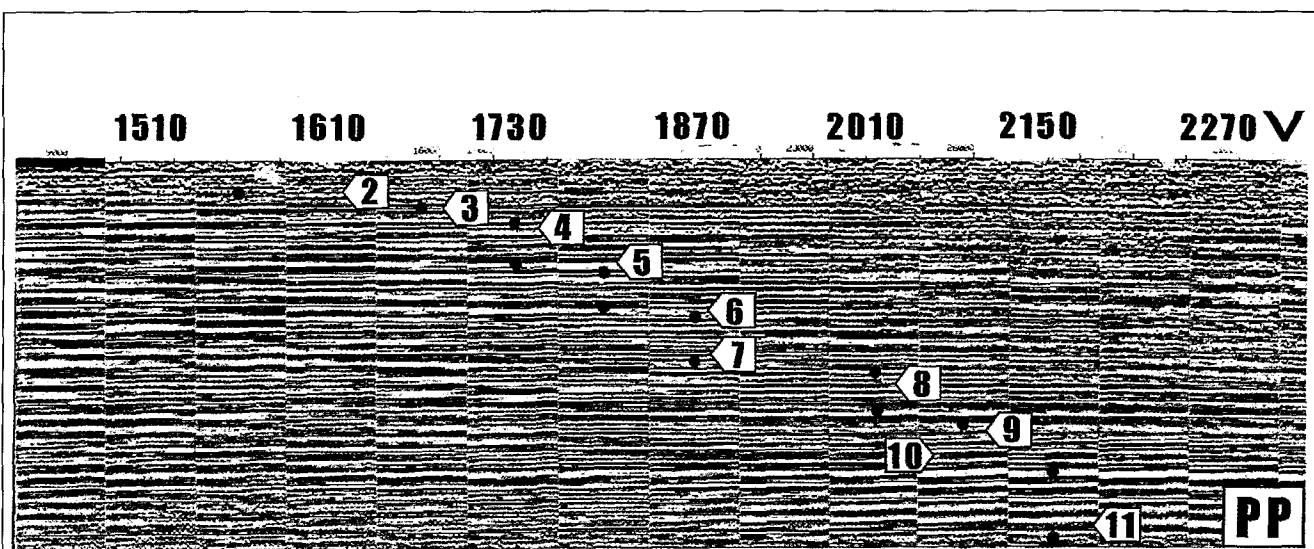


*a*

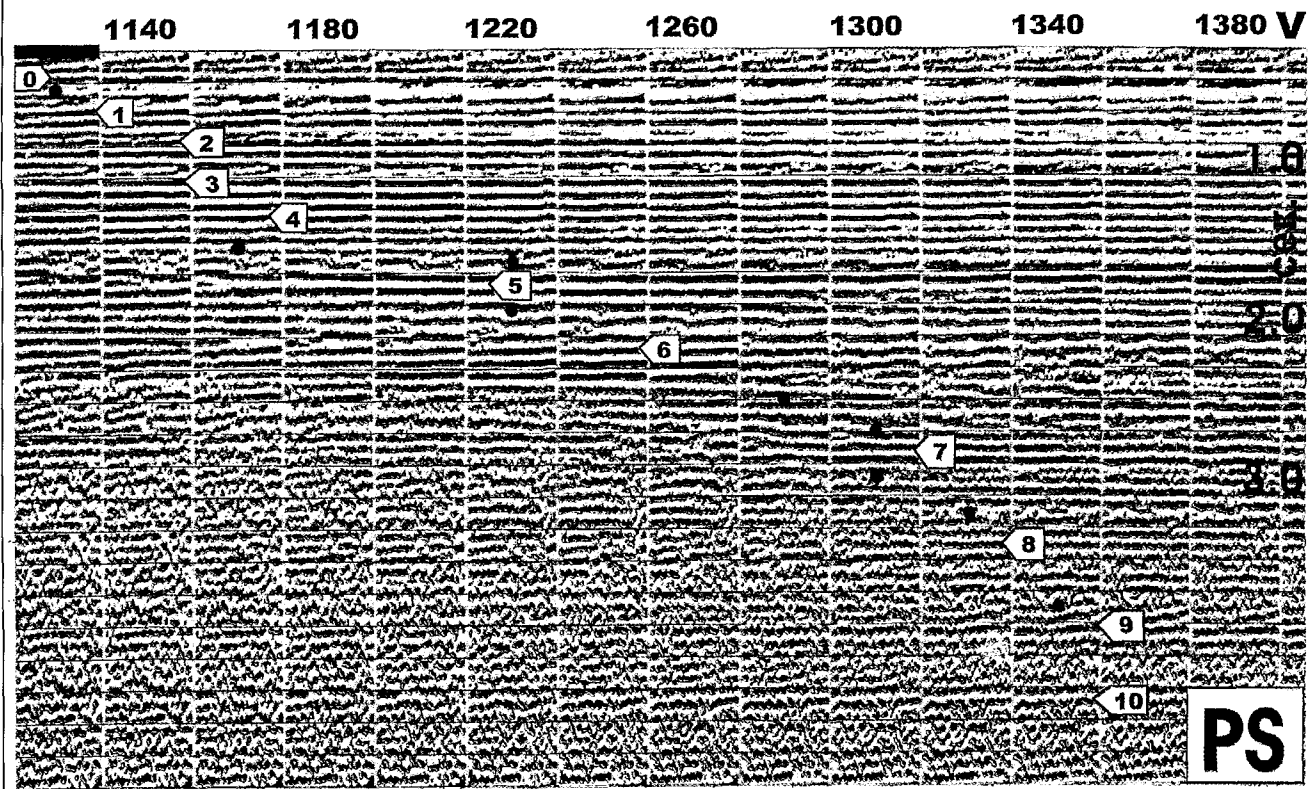


*б*

Рис. 1. Исходные сейсмограммы ОПВ для выделения РР волн (а) и сейсмограммы ОПВ (после вычитания РР волн) для выделения PS волн (б)



*a*



*б*

Рис. 2. Переборы скоростей продольных (а) и поперечных (б) волн

вок на дне моря и весьма дорогостоящи. В то же время имеются реальные предпосылки получения необходимой информации об обменных волнах на основе обычных традиционных морских наблюдений МОВ ОГТ с датчиками давления. Принципиально многоволновая сейсморазведка на море связана с выделением обменных волн, регистрируемых с пьезодатчиками давления (гидрофонами). Известно, что диаграмма направленности такого рода датчиков представляет собой сферу, в принципе соответствующую диаграмме направленности модуля полного вектора колебания, не обладающей необходимой избирательностью [3].

Здесь датчиками давления регистрируются все волны, приходящие с разных направлений пространства. Однако в отличие от векторных трехкомпонентных наблюдений в этом случае отсутствует возможность селекции волн по признаку поляризации. Поэтому основными характеристиками для выделения обменных волн являются традиционные параметры скалярной сейсморазведки — скорость и частота. Отметим, что в морской сейсморазведке с датчиками давления можно говорить о выделении обменных волн типа *PPSP* или *PSSP*, претерпевающих обмен типа *P-S* на глубинной границе (или на дне моря) и отраженной *S-P* на дне моря, хотя не исключена селекция также других видов обменных отражений. При небольших глубинах моря (до 60...100 м) кинематика волн *PPSP* близка к кинематике волн *PS*, что позволяет разделить и проследить независимо друг от друга продольные и обменные волны *PPSP* (возможно также выделение волн *PSSP*) с целью их использования для получения данных об упругих модулях среды ( $\gamma_t = V_s/V_p$ ,  $\sigma$  — коэффициент Пуассона,  $E$  — модуль Юнга и др.) и ее коллекторских свойствах, определяемых совокупностью параметров продольных и обменных (поперечных) волн. При этом должны быть учтены поправки за пробег обменной волны в водной среде.

Однако для обеспечения достоверности и однозначности получаемых данных, надежной стратиграфической привязки выделенных волн к геологическому разрезу на исследуемой площади обязательно должны быть выполнены наблюдения ВСП поляризационным методом (ПМ ВСП) из продольного и непродольных ПВ. Это позволит по наблюдениям ПМ ВСП обеспечить стратиграфическую привязку волн и выяснить их природу, изучить скоростные параметры разреза и упругодеформационные модули среды, оценить отражающие и поглощающие свойства разреза по совокупности продольных и обменных волн, повысить точность структурных построений, а также распространить детальные данные, полученные в скважине, на окрестности, тем самым обеспечивая достоверное прогнозирование геологического разреза, в том числе и глубже забоя скважины.

Оценка возможности такого современного подхода к обработке наблюдений МОВ ОГТ на море совместно с данными ПМ ВСП проведена в услови-

ях Северо-Западного шельфа Черного моря на Каркинитской площади, где в одноименной скв. 1 были выполнены исследования поляризационным методом ВСП. Эти исследования совместно с ранее отработанными морскими профилями МОВ ОГТ позволили создать взаимоувязанную систему скважино-позиционных наблюдений, опирающуюся на исследуемую скважину. Здесь наблюдения ПМ ВСП являлись основой для выявления связей кинематических и динамических характеристик волн со свойствами реальных сред.

Взаимная увязка волновых полей, регистрируемых во внутренних точках среды и водной среде, позволяет изучить изменение физических свойств горных пород по латерали. Сочетание скважинных и морских наблюдений существенно расширяет круг анализируемых параметров и за счет получения новой информации об исследуемых средах. Проведенные оценки подтверждают эффективность комбинированных наблюдений ПМ ВСП и морской сейсморазведки. Полученные материалы характеризуются значительной представительностью и в то же время сложностью и разнообразием, обусловленными как геологическими особенностями строения площади, так и методическими и техническими условиями работ.

Рассмотрим особенности обработки и результаты исследований.

### 1. Цифровая обработка материалов для изучения временных разрезов *PP* и *PS* волн.

Обработка материалов по профилю МОВ ОГТ, полученному в морских условиях датчиками давления, была направлена в первую очередь на выделение волн типа *PPSP* с обменом типа *P-S* на глубинной границе и типа *S-P* на дне моря. В связи с небольшой глубиной моря основным критерием для выделения обменных волн *PS* являлась близость их кинематики к кинематике волн *PPSP*. Для этого априорные значения эффективных скоростей рассчитывались по данным ПМ ВСП в скв. 1 — Каркинитская по формуле  $V_{PS} = \sqrt{V_P \cdot V_S}$ , где  $V_P$  — скорости продольных, а  $V_S$  — скорости поперечных волн.

В результате расчетов было установлено, что эффективные скорости *PS* волн изменяются в диапазоне от 1000 м/с по горизонту  $M_{кр.}$  до 1800 м/с по горизонту  $K_n$ . Исходя из полученных данных было проведено вычитание *PP* волн на исходных сейсмограммах, зарегистрированных с датчиками давления с целью выделения *PS* волн в указанном диапазоне скоростей. Очищенные от помех (*PP* волн) сейсмограммы (рис. 1, а, б) в дальнейшем использовались для выделения и прослеживания *PS* волн. При этом уточнялся априорный скоростной закон суммирования *PS* волн путем перебора скоростей (рис. 2, а, б). Уточненный скоростной закон в верхней части близок к априорному, а на больших временах отличается от него несколько более низкими значениями скоростей. В частности, на временах  $t_0 = 4,6...4,7$  с

регистрации отражений от подошвы осадочного чехла ( $K_{1n}$ ) значения скорости оптимального суммирования составляют 1300...1450 м/с, в то время как расчетное значение скоростей обменной волны  $V_{эфPS} = 1800$  м/с. Очевидно, что занижение скоростей связано с негиперболичностью годографов  $PS$  волн и с погрешностями их аппроксимации стандартными средствами обработки. После уточнения скоростных законов суммирования применялись процедуры коррекции статических поправок, потрассовой коррекции, фазовых сдвигов и формы записи, полосовой и когерентной фильтраций.

Граф обработки  $PS$  волн был аналогичен графу обработки  $PP$  волн, за исключением того, что при выделении  $PS$  волн применялись более низкочастотная полосовая фильтрация (4...30 Гц) и несимметричная выборка каналов для образования сейсмограмм ОГТ (ОГТ  $PS$ ) [5].

Полученные результирующие разрезы  $PP$  и  $PS$  волн (рис. 3, 4) были совместно проинтерпретированы. Основой их совместной интерпретации являлось отождествление волн разных типов с использованием вертикальных годографов  $P$  и  $S$  волн (рис. 5) и их стратиграфическая привязка к геологическому разрезу по скв. 1 — Каркинигская, через устье которой проходил исследуемый профиль МОВ ОГТ. Полученные временные разрезы  $PP$  и  $PS$  волн были использо-

ваны для определения параметра  $\gamma_t = \frac{t_{0PP}}{2t_{0PS} - t_{0PP}}$  и анализа динамических особенностей  $PP$  и  $PS$  волн, связанных с одними и теми же границами.

## 2. Результаты исследований.

### Комплексная интерпретация продольных и обменных волн

Полученные временные разрезы  $PP$  и  $PS$  (см. рис. 3, 4) волн освещают строение всего осадочного чехла, толщина которого в районе скв. 1 составляет 3750 м. Отождествление волн разных типов выполнено по вертикальным годографам  $P$  и  $S$  волн, полученным по данным ПМ ВСП.

Установлено, что глубины образования  $PP$  и  $PS$  волн, связанных с глубинными опорными границами, в основном, совпадают. Отличия наблюдаются только в верхней части разреза. На временном разрезе  $PP$  волн первой резкой границей является кровля майкопской толщи ( $M_{кр.}$ ), залегающая на глубинах 400...500 м. В то же время на разрезе  $PS$  волн выделяется еще ряд сейсмических горизонтов выше  $M_{кр.}$ . Среди них доминирует отражение от кровли сармата. Несколько слабее выделяются  $PS$  волны от кровли понта и от средней части сармата.

Таким образом, верхняя часть разреза освещена  $PS$  волнами более детально, чем  $PP$  волнами. Качество прослеживания и динамическая выразительность более глубоких сейсмических горизонтов для волн разных типов, в основном, совпадают. На них уверенно выделяются отражения от подошвы песчаной

пачки майкопа ( $M_1$ ), от подошвы майкопа ( $M_n$ ), кровли верхнего ( $K_{2кр.}$ ) и подошвы нижнего ( $K_{1n}$ ) мела. Их динамическая выразительность является устойчивой на всем протяжении профиля. Исключение составляет отражение от подошвы майкопского комплекса, которое в начальной части профиля характеризуется низкой энергией по обоим типам волн, и затем его интенсивность увеличивается.

Очевидно, такая динамика связана с литологическими изменениями в верхней части эоцена, которые одинаково проявляются в скоростях  $V_P$  и  $V_S$ .

Некоторое отличие динамики волн разных типов отмечается в нижней глинистой части майкопа. Здесь уверенно прослеживается ряд сейсмических горизонтов на разрезе  $PS$  волн, в то время как на разрезе  $PP$  волн они выделяются условно.

В целом качество прослеживания  $PS$  волн и соотношение сигнал—помеха для них несколько ниже, чем для  $PP$  волн. Тем не менее полученные временные разрезы позволили уверенно проследить вдоль профиля опорные сейсмические горизонты и выполнить комплексную интерпретацию для волн разных типов.

Комплексная интерпретация продольных и обменных волн заключалась в изучении характера изменения параметра  $\gamma_t$  для различных стратиграфических комплексов осадочного чехла. На основании этого прогнозируются структурно-литологические особенности разреза и их изменение вдоль профиля.

Параметр  $\gamma_t$  (рис. 6) рассчитан как для отдельных основных комплексов отложений (майкопская толща, эоцен-палеоцен, верхний мел), так и от поверхности до различных границ ( $M_{кр.}$ ,  $M_n$ ,  $K_{1n}$ ).

Установлено, что с глубиной параметр  $\gamma_t$  увеличивается, отражая, с одной стороны, эффект гравитационного уплотнения песчано-глинистых отложений (см.  $\gamma_t(x)$  по горизонтам  $M_{кр.}$  и  $M_n$ ). С другой стороны, увеличение  $\gamma_t$  связано с литологическими изменениями, в частности с переходом от терригенных осадков к карбонатным (см.  $\gamma_t(y)$  по горизонтам  $M_n$  и  $K_{1n}$ ).

Для терригенной надэоценовой толщи характерна выдержанность физических свойств вдоль профиля, что проявляется в практически неизменных значениях  $\gamma_t(x)$  по горизонтам  $M_{кр.}$ ,  $M_n$  и в интервале майкопа ( $M_{кр.}$ — $M_n$ ). В надмайкопской толще (горизонт  $M_{кр.}$ )  $\gamma_t$  принимает значения 0,29...0,30, а в майкопе ( $M_{кр.}$ — $M_n$ ) увеличивается до 0,37...0,38.

Вполне естественно, что для терригенной части разреза исследуемого участка характерно доминирующее влияние на упругие свойства пород фактора глубины их залегания, по сравнению с фактором литологии. На это, в частности, указывают более низкие значения  $\gamma_t$  в преимущественно песчанистой надмайкопской толще по сравнению с глинистой толщей майкопа. Вследствие преобладания гравитационного фактора в надэоценовой толще, залегающей субгоризонтально, отмечается незначительная изменчивость упругих свойств разреза.

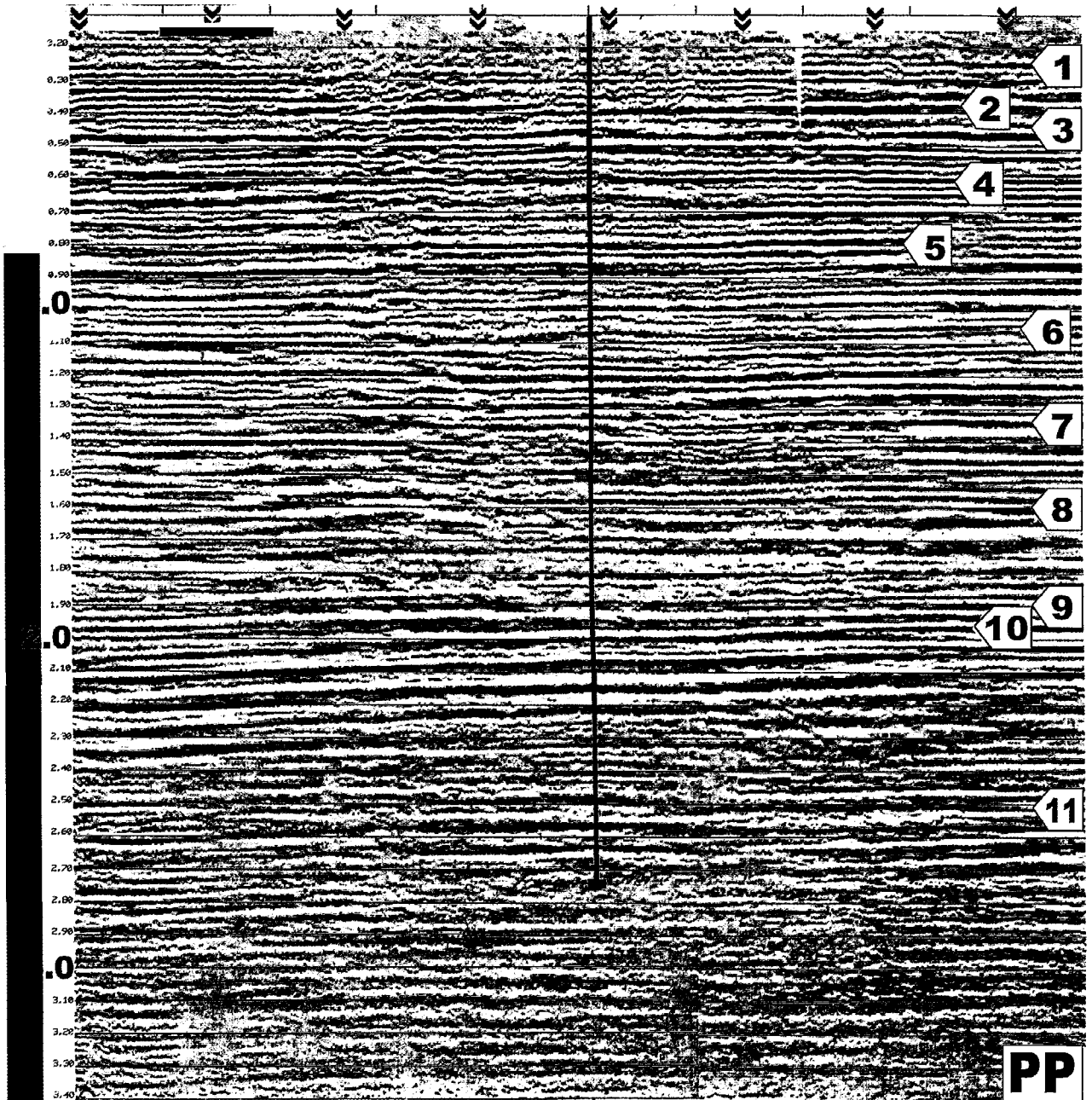


Рис. 3. Временной разрез PP волн

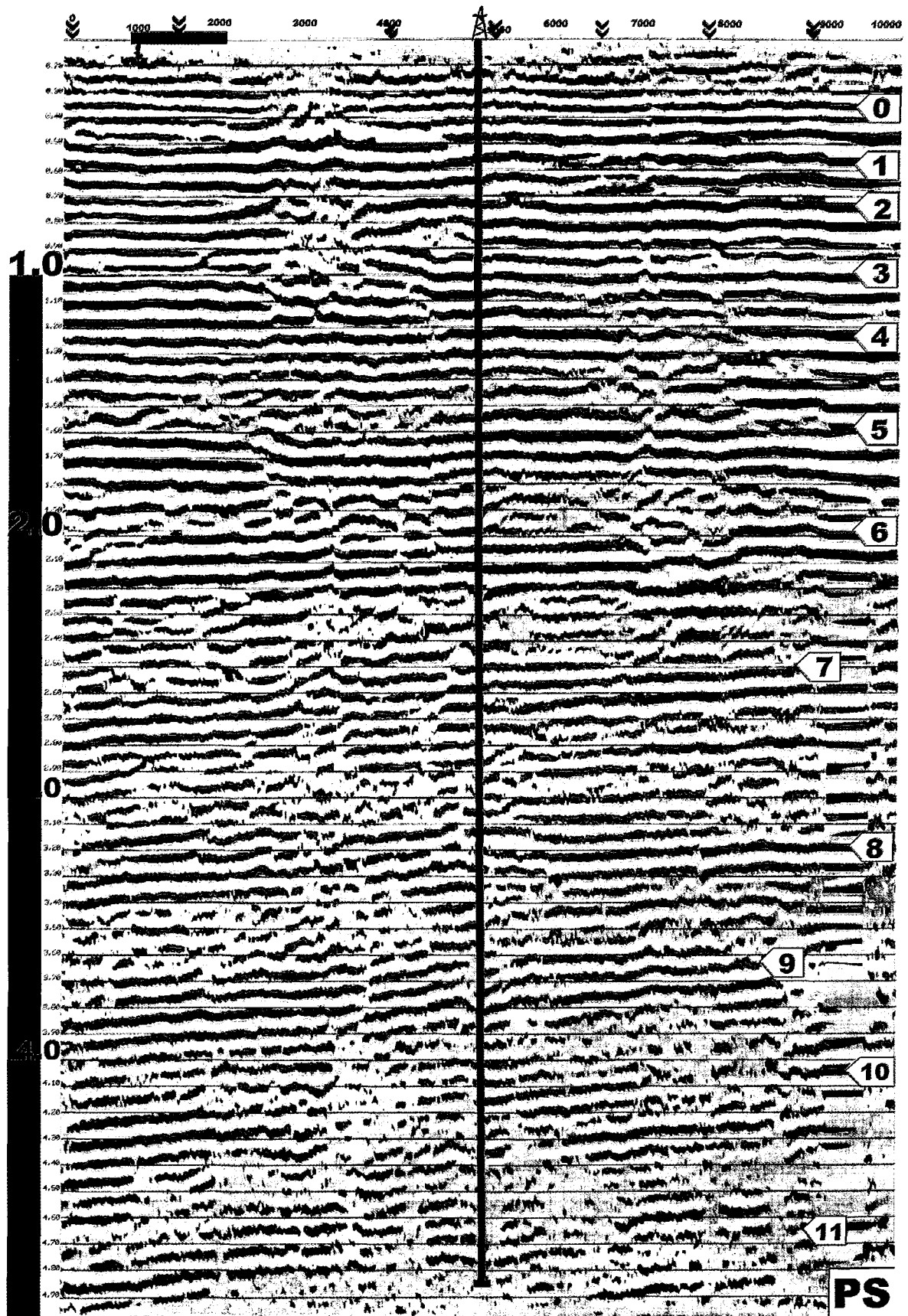


Рис. 4. Временной разрез PS волн

# Условные обозначения: 3- $M_{кр}$ ; 8- $M_{п}$ ; 10- $K_{2кр}$ ; 11- $K_{1п}$

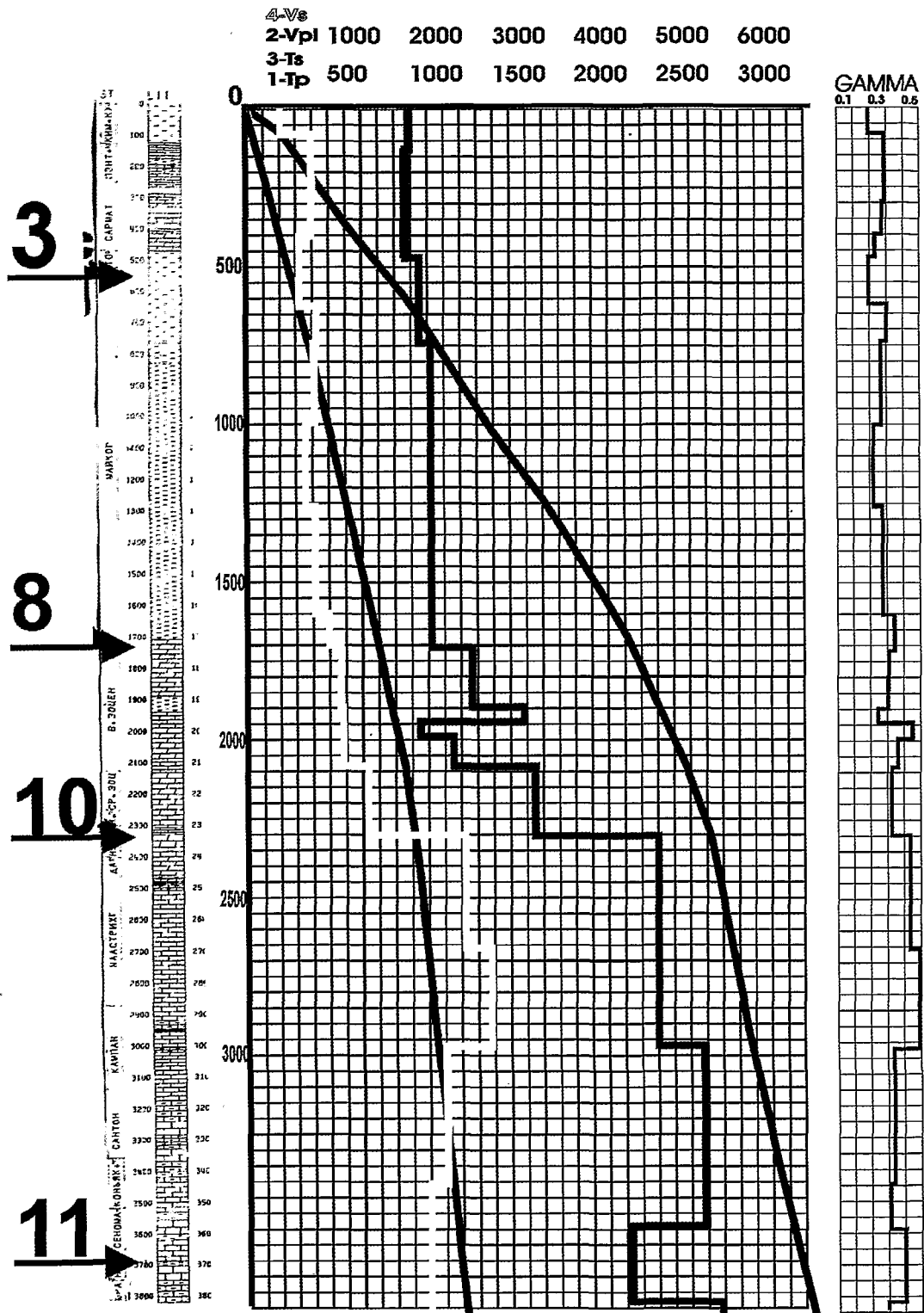


Рис. 5. Вертикальные годографы и графики пластовых скоростей продольных и поперечных волн. Скв. 1-Каркинитская. Черное море



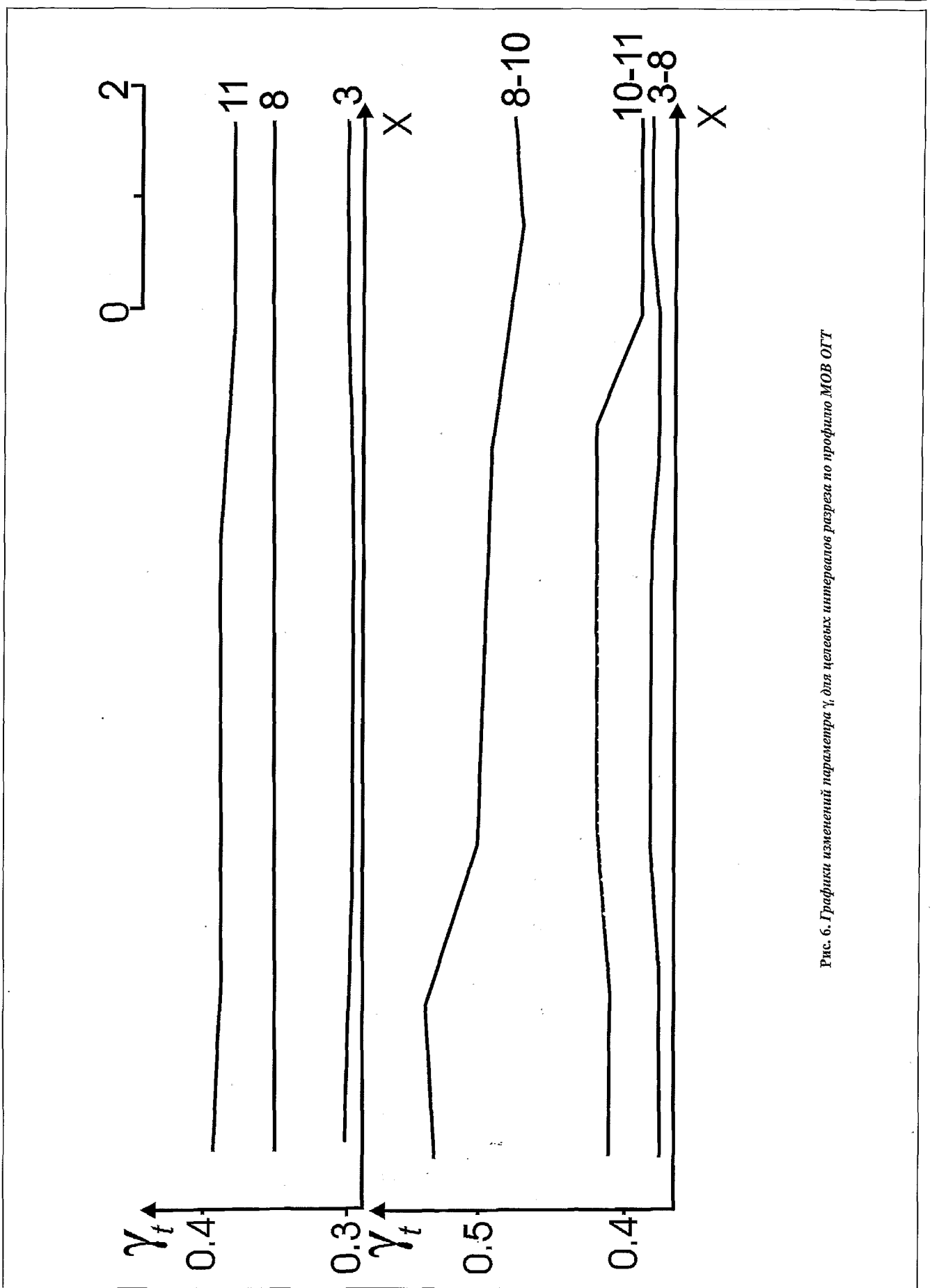


Рис. 6. Графики изменений параметра  $\gamma_t$  для целевых интервалов разреза по профилю МОВ ОГТ

Очевидно, глубина залегания сильно влияет и на упругие свойства карбонатных отложений. На это, в частности, указывает уменьшение  $\gamma_t$  в направлении восстания границ в эоцен-палеоценовой и меловой толщах. Причем для более глубоко залегающих отложений (в мелу) градиент изменения  $\gamma_t$  уменьшается ( $\gamma_t = 0,42 \dots 0,39$ ) по сравнению с вышележащими эоцен-палеоценовыми породами ( $\gamma_t = 0,53 \dots 0,48$ ).

Общее уменьшение  $\gamma_t$  в карбонатном разрезе в сторону восстания границ проявляется и на графике  $\gamma_t$  по горизонту  $K_{1\text{б}}$ , хотя здесь оно выглядит не столь рельефно ( $\gamma_t$  уменьшается от 0,39 до 0,375) из-за сглаживающего влияния вышележащей терригенной толщи.

Сопоставляя упругие свойства карбонатных отложений эоцен-палеоцена и мела, следует отметить, что первые отличаются более высокими значениями  $\gamma_t$ . Очевидно, это является следствием распространения здесь более плотных, монолитных карбонатно-мергелистых пород.

В верхнем мелу (интервал  $K_{2\text{кр}}$ — $K_{2\text{п}}$ ) параметр  $\gamma_t$  существенно меньше и приближается по абсолютным значениям к терригенным отложениям майкопа. Очевидно, это является следствием повышенной пористости и трещиноватости верхнемеловых известняков по сравнению с эоцен-палеоценовыми.

В центральной части описываемого профиля в меловом интервале отмечается положительная аномалия параметра  $\gamma_t$ , которая проявляется на общем фоне уменьшения его значений в сторону восстания границ. Эта аномалия может быть связана как с нефтегазонасыщенностью верхнемеловых отложений, так и со структурно-литологическими особенностями известняков. По одному профилю невозможно определить природу выявленной аномалии, хотя влияние фактора нефтегазонасыщения весьма вероятно, исходя из данных бурения скв. 1 — Каркинитской.

В целом результаты исследований свидетельствуют о возможности получения дополнительной информации при комплексировании  $PP$  и  $PS$  волн в морских условиях. Особенно полезна эта информация для повышения достоверности прогнозирования геологического разреза. По стандартным разрезам  $PP$  волн приведенный выше прогноз выполнить практически невозможно.

Таким образом, можно отметить, что имеются реальные возможности существенного увеличения эффективности морской сейсморазведки при решении задач прогноза коллекторов и нефтегазонасыщения геологического разреза за счет совместного использования продольных и обменных волн. Для этого накоплено огромное количество сейсмических материалов МОВ ОГТ, полученных за многие годы в основных районах континентального шельфа РФ. Однако для оценки достоверности обработки и интерпретации полученных данных, выявления их связи с геологическим разрезом сейсмические наблюдения на вертикальном профиле должны быть обработаны поляризационным методом ВСП.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гальперин Е. И. Поляризационный метод сейсмических исследований. — М.: Недра, 1979. — 267 с.
2. Мирзоян Ю. Д., Богоявленский В. И., Мирзоян Л. Ю. Опыт и результаты применения векторной сейсморазведки на акватории Азовского моря // Геология, геофизика и разработка нефтяных месторождений. — 1988. — № 2. — С. 21—35.
3. Зверев С. М. Сейсмические исследования на море. — М.: МГУ, 1964. — 185 с.
4. Многоволновые сейсмические исследования / Под ред. Н. Н. Пузырева. — М.: Наука, 1987. — 210 с.
5. Пузырев Н. Н., Лебедева Г. Н. Особенности годографов ОГТ  $PS$  при различных способах их формирования // Геология и геофизика. — 1986. — № 4. — С. 69—75.