

## ПРИМЕНЕНИЕ ПРОМЫСЛОВОЙ СЕЙСМИКИ ДЛЯ ДОРАЗВЕДКИ РАЗРАБАТЫВАЕМЫХ НЕФТЕГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ (НА ПРИМЕРЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЮЖНО-КЛЮЧЕВОЕ)

Ю. Д. Мирзоян, Ю. Д. Коноплев

(ООО "Ингосейс", ОАО "Роснефть—Краснодарнефтегаз")

В настоящее время доразведка старых хорошо обустроенных нефтегазовых месторождений с целью увеличения добычи нефти и газа является одной из актуальных проблем. Основные задачи связаны с прогнозом коллекторов и их нефтегазонасыщенности, поиском и выявлением невыработанных нефтегазонасыщенных пластов. Описываемая ниже технология промышленной сейсмологии [1] основана на измерениях ГИС и ПМ ВСП в сочетании с данными бурения.

На первых этапах выполняются промышленно-геофизические исследования в добывающей скважине для определения толщины и характеристик невыработанного нефтенасыщенного пласта, а затем проводятся детальные наблюдения поляризационным методом ВСП [3] из разноудаленных и разноориентированных пунктов возбуждения с целью изучения распределения залежи в окрестности скважины. Здесь наблюдения ПМ ВСП позволяют передать детальные данные о среде, полученные методом ГИС, в околоскважинное пространство на расстоянии 1,5...2,0 км и более. Технология промышленной сейсмологии опробована и внедрена в различных условиях Южного борта Западно-Кубанского прогиба, в частности на месторождении Южно-Ключевое (Восточный Узун), где было рекомендовано поэтапное бурение четырех скважин (скв. 411—414), вскрывших продуктивные пласты и давших промышленные притоки нефти от 10 до 26 м<sup>3</sup>/сут.

В настоящей статье описываются результаты промышленной сейсмологии на примере Южно-Ключевой площади (Восточный Узун, скв. 413).

Рассмотрим сейсмогеологические условия района работ, методику полевых наблюдений, обработки и интерпретации материалов, а также результаты выполненных исследований.

### 1. СЕЙСМОГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА РАБОТ

Район работ располагается в пределах Калужской антиклинальной зоны Южного борта Западно-Кубанского прогиба.

Рассмотрены принципиальные вопросы увеличения добычи нефти на разрабатываемых месторождениях в условиях Южного борта Западно-Кубанского прогиба. Применение ПМ ВСП, являющегося основой промышленной сейсмологии, позволило по детальной сети продольных наблюдений в комплексе с данными ГИС выделить в околоскважинном пространстве исследуемых скважин невыработанные нефтяные пласты по совокупности упругих параметров ( $\gamma = V_s/V_p$ ,  $\sigma$  — коэффициенту Пуассона и др.), а также по аномалиям сейсмоакустической энтропии и энтальпии.

Высокая (100%-я) подтвержденность результатов бурения позволяет рекомендовать данную технологию для широкого внедрения в различных районах страны.

Основные перспективы нефтегазоносности связаны с отложениями среднего майкопа, характеризующимися моноклинальным строением и наличием литологического выклинивания песчаных горизонтов.

Условия для наблюдений ПМ ВСП в основном благоприятны. Скоростной разрез слабо дифференцирован, что является причиной образования большого количества волн разных типов ( $P$ ,  $S$ ,  $PP$ ,

$PS$  и др.), распространяющихся в пространстве с различными скоростями и разной поляризацией.

### 2. МЕТОДИКА НАБЛЮДЕНИЙ

При наблюдениях ПМ ВСП на месторождении Южно-Ключевое (Восточный Узун) исследования проведены поэтапно — вначале в ранее пробуренных скв. 410, 485, а затем в новых скв. 411, 413. В каждой скв. 410, 411, 485 работы ПМ ВСП выполнены из 5 пунктов возбуждения (ПВ), а в скв. 413 — из 4 ПВ.

Расстояние между скважинами не превышало 400...600 м, что обеспечило создание на площади системы встречных взаимозавязанных наблюдений, охватывающих около- и межскважинное пространство.

Шаг по вертикальному профилю составил 10 м, в интервале распространения нефтенасыщенных песчаников он уменьшался до 2...5 м. При отработке использовались невзрывные источники возбуждения — вибраторы СВ-5-150 и скважинные пневмоисточники — ПИК-1. Как правило, ближние ПВ дублировались обоими источниками, что позволяло определять времена первых вступлений с требуемой точностью.

Для повышения соотношения сигнал—помеха проводили накапливание слабых воздействий и регистрацию на компьютере с шагом квантования 1 мс при длине записи 6 с с использованием четырехкомпонентного цифрового зонда "Вектор-1". Контроль идентичности трехкомпонентной установки выполняли непрерывно в процессе полевых работ путем сравнения записей вертикальных составляющих,

полученных в результате прямой регистрации и суммирования наклонных компонент [3].

При наблюдениях были приняты меры для сохранения неизменными условий возбуждения на каждом ПВ.

### 3. ОБРАБОТКА И ИНТЕРПРЕТАЦИЯ МАТЕРИАЛОВ

Обработку материалов проводили на компьютерах Pentium по специализированным комплексам в несколько этапов. На первом этапе были выполнены предобработка записей, их ориентация по  $P$  волне, расчет составляющих, различным образом ориентированных в пространстве в локальной и пространственной координатах. На втором этапе оценивали возможности разрешения волн по признаку поляризации с применением традиционных средств селекции волн по скорости и частоте. На третьем этапе использованы миграционные преобразования сейсмических записей для получения временных и глубинных разрезов по  $PP$ ,  $PS$  и  $SS$  волнам, а также для построения структурных схем. Ниже в краткой форме дается описание основных этапов обработки.

**3.1. Анализ волнового поля.** Для изучения состава и структуры зарегистрированного волнового поля использованы приемы полярной и поляризационно-позиционной корреляции (ППК) [3].

Определение параметров поляризации  $|\bar{A}|(H)$ ,  $\omega(H)$ ,  $\varphi(H)$  (первый этап) выполняется в каждой точке приемами полярной корреляции (ПК). Селекция волн по признаку поляризации — (второй этап) осуществляется поляризационно-позиционной корреляцией (ППК) по линиям или по площади.

*Полярная корреляция* заключается в изучении особенностей записи, полученной в одной точке в функции ориентировки составляющих колебаний в пространстве. При ПК изучается характер поляризации, выделяются линейно-эллиптически- и сложнополяризованные колебания, определяемые формой осей синфазности полярной сейсмограммы. Сложнополяризованные волны отличаются криволинейными или наклонными осями синфазности. Полярная корреляция позволяет определить направления смещений и изучить траекторию движения частиц в точке [1].

*Поляризационно-позиционная корреляция* является основным способом анализа волнового поля вдоль линии наблюдения. При ППК прослеживается не фиксированная, а оптимальная для каждой волны составляющая, характеризующаяся максимальным отношением сигнал—помеха. С этой целью получены сейсмограммы 23 фиксированных компонент и составляющих  $P$ ,  $R$ ,  $T$  локальной системы координат.

Детальное рассмотрение волнового поля по полученным записям позволило выбрать фиксированные компоненты, на которых лучшим образом обеспечивается прослеживание целевых волн, а также построить стереограммы областей оптимального их прослеживания. Оптимальные составляющие волнового поля были использованы для последующей обработ-

ки с применением интерференционных систем, обратной и корректирующей фильтраций, ввода статических и кинематических поправок, миграции, вывода осей синфазности отраженных волн на вертикаль, вычитания и суммирования, а также для надежной стратиграфической привязки волн различных типов —  $PP$ ,  $PS$  и др.

**3.2. Изучение скоростей распространения сейсмических волн и оценка точки их определения.** Изучение скоростей проводили по прямым  $P$  и  $S$  волнам, выделенным на сейсмограммах следящих составляющих из ближнего ПВ.

Наблюдаемые годографы  $P$  и  $S$  волн приводили к вертикали, по ним осуществляли расчет интервальных и средних скоростей, а также разбивку слоев на пласты. Границы пластов выделялись также по излому годографов продольных и обменных отраженных и проходящих волн и интервалам изменения их кажущихся скоростей на непродольных профилях.

Точность определения скоростей оценивали по известным формулам [5]. Для скоростей продольных волн ( $V_P$ ) погрешности определения их средних значений не превышают 1 %, а пластовых — 2...3 % при точности снятия времен 0,001 с, что было обеспечено качеством полевых наблюдений.

Для скоростей поперечных волн ( $V_S$ ) погрешности в оценке их средних значений могут достигать 1,5...2,0 %, а пластовых — 3...4 % и более.

Полученная точность определения скоростей является достаточно высокой, поскольку здесь использованы лишь наблюдения из ближнего ПВ, где отсутствует преломление на промежуточных границах.

**3.3. Изучение поглощения по  $P$  волне.** Изучение поглощения проводили по наблюдениям из ближнего ПВ. По полученным записям выполнено определение коэффициента поглощения [2].

Предварительно сигнал по  $P$  волне был восстановлен с шагом дискретизации 0,5 мс. Окно для частотного анализа было выбрано экспериментально — 100 мс, в нем и проводился расчет коэффициента поглощения.

**3.4. Изучение поляризации  $P$  волны.** Изучение поляризации первой продольной волны выполняли в рамках модели линейно-поляризационных колебаний. Исследованы направления смещений, характеризующиеся двумя углами в вертикальной ( $\varphi$ ) и горизонтальной ( $\omega$ ) плоскостях, причем параметры поляризации определялись как в заданном временном окне, так и на различных монохроматических составляющих амплитудно-частотного спектра колебаний (15, 30, 45, 60 Гц). В целом отмечается их хорошая внутренняя сходимость.

Для отраженных и проходящих  $PP$ ,  $PS$  волн параметры поляризации исследовались по полярным сейсмограммам и набору фиксированных компонент, равномерно распределенных в пространстве. Сопоставление условий выделения и подавления волн разных типов на различных фиксированных составляющих позволило локализовать в пространстве об-

ласти их оптимального прослеживания, определить преобладающие параметры поляризации для каждого типа волн.

**3.5. Стратиграфическая привязка волн.** Стратиграфическую привязку волн к геологическому разрезу осуществляли по наблюдениям ВСП из ближнего ПВ по записям восходящих волн.

Правильность привязки опорных отражающих границ оценивали по совпадению глубин отражения  $PP$  и  $PS$  волн из разных ПВ. Корреляция отраженных волн производилась по фазе, время регистрации выделяемых волн приводилось к первым вступлениям с учетом поправки за фазу.

Для повышения детальности изучения волнового поля были получены одномерные синтетические сейсмограммы ВСП. Расчет волновых полей осуществлялся в рамках лучевого приближения с использованием скоростной модели, полученной по данным АК и ВСП из ближнего ПВ. При визуализации воспроизводились синтетические трассы отраженных  $PP$  волн.

**3.6. Изучение упругодеформационных модулей среды.** Наблюдениями ПМ ВСП было обеспечено изучение скоростей  $V_P$  и  $V_S$  и упругодеформационных модулей среды (отношение  $\gamma = V_S/V_P$ ,  $\sigma$  — коэффициент Пуассона,  $E$  — модуль Юнга и постоянные Ламе —  $\mu$  и  $\lambda$ ).

По результатам исследований из непродольных ПВ были построены временные и глубинные разрезы ВСП ОГТ продольных и обменных волн, а также графики изменения параметра  $\gamma$ , вдоль профилей ВСП ОГТ и схемы распределения параметров  $\gamma$ ,  $\sigma$  и нефтенасыщения в около- и межскважинном пространстве исследованных скважин.

**3.7. Прогнозирование акустической жесткости ниже забоя скважины.** Прогноз сейсмоакустического разреза по данным ВСП проведен на основе комплекса ВСП ПГР [7], которым реализуется решение одномерной обратной динамической задачи (ОДЗ). При исследованиях ВСП решение ОДЗ облегчается благодаря знанию исходного сейсмического сигнала.

Прогноз акустической жесткости выполняли с глубины 1900 м для нескрытой части геологического разреза, где получено сравнительно высокое качество сейсмического материала.

Для расчета оператора обратного фильтра использовалась трасса падающих волн длиной 2000 мс, при этом параметр регуляризации изучался в пределах 0,05...0,1, синфазное накапливание трасс падающих и отраженных волн осуществлялось в заданном интервале глубин. При прогнозе акустической жесткости интервал накапливания составил 80 м (9 трасс). Уровень коэффициента корреляции по отраженным волнам был выше 0,96, что свидетельствует об устойчивости отражений и, следовательно, о достоверности прогнозной кривой.

При расчетах начальную акустическую жесткость задавали равной 5,8 г/см<sup>3</sup>·м/с, среднюю скорость на глубине 1900 м — 2600 м/с.

**3.8. Получение временных, глубинных динамических разрезов и выполнение структурных построений.** Для получения временных и глубинных динамических разрезов ВСП ОГТ использован следующий граф обработки:

расчет модели волнового поля и сравнение его с наблюдаемым;

построение глубинного и временного разрезов ВСП ОГТ;

контроль и отождествление одноименных границ по  $PP$  и  $PS$  волнам с учетом полученных временных зависимостей  $t_P(H)$  и  $t_S(H)$ ;

построение единого высокоразрешенного глубинного разреза по  $PP$  и  $PS$  волнам с использованием параметров обратной фильтрации: интервал предсказания — 6 мс, соотношение сигнал—шум — 20 %, длина оператора — 2000 мс, полосовая фильтрация — 10...120 Гц, корректирующая фильтрация — 15...80 Гц.

Для уравнивания спектральных характеристик глубинных и временных разрезов, их отождествления и увязки форма записи одного профиля приводилась к форме записи другого, на разрезы наносились также кривые ГИС и литолого-стратиграфическая колонка.

Все полученные разрезы ВСП ОГТ были увязаны между собой по целевым волнам, а затем по ним проведено построение структурной схемы, схем распределения  $\gamma$ , ( $x$ ) и прогноза нефтенасыщенности пород среднего майкопа.

#### 4. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Работы ПМ ВСП на Южно-Ключевой площади (Восточный Узун) были направлены на решение геологических задач. Однако в процессе их проведения выявилась необходимость решения методических вопросов, обусловленных, прежде всего, особенностями зарегистрированного волнового поля. Его детальное рассмотрение позволило выделить и проследить основные типы сейсмических волн (продольные, поперечные и обменные) с целью изучения строения и нефтенасыщения в окрестности указанных скважин.

Рассмотрим полученные результаты.

**4.1. Состав и особенности зарегистрированных волновых полей.** Векторная регистрация сейсмических сигналов обеспечила выделение и прослеживание прямых ( $P$  и  $S$ ), отраженных ( $PP$ ,  $PS$  и  $SS$ ) и других типов волн.

На ближнем ПВ целевыми волнами являлись первая продольная ( $P$ ), отраженные ( $PP$ ) и прямая ( $S$ ) волны. На непродольных профилях основными волнами, представляющими разведочный интерес для изучения околоскважинного пространства, являлись отраженные продольные ( $PP$ ) и обменные ( $PS$ ) волны.

Кроме того, изучались достаточно интенсивные отраженные ( $SS$ ) волны.

Рассмотрим более детально волновые поля.

Первая продольная ( $P$ ) волна прослеживается практически непрерывно на  $Z$  составляющей из всех

ПВ во всех скважинах. На отдельных участках удаленных ПВ в области минимума годографа, где отмечаются нарушения в корреляции, ее выделение улучшается на  $P$ -составляющей. Изучение первой продольной волны, дающей начало всему волновому процессу, имеет важное практическое значение — по ней определяются скорости, параметры поглощения и отражения, поляризации и другие характеристики.

*Продольные отраженные (PP) волны* связаны со всей исследуемой толщей (рис. 1). Наиболее уверенно в верхней части геологического разреза они выделяются от границ в сармате и карагане, где прослеживаются непрерывно без нарушений в корреляции волн. Границы образования продольных отраженных волн совпадают с литолого-стратиграфическими границами. Кажущиеся скорости волн изменяются от 2000 до 2500 м/с. Видимые частоты лежат в пределах 10...70 Гц. Области оптимальной регистрации продольных отражений располагаются между компонентами 17...23 с небольшими азимутальными отклонениями для разных ПВ. На всех записях, особенно из ближнего ПВ, их выделение ухудшается при приближении к дневной поверхности. Несмотря на это, они являются источниками интенсивных падающих продольных волн, отраженных от дневной поверхности ( $PP\downarrow$ ). Кажущиеся скорости отраженных и падающих продольных волн близки между собой, их видимые частоты находятся в пределах 10...60 Гц.

Волновое поле продольных волн существенно осложняется интерференцией с поперечными обменными волнами, однако применением процедур поляризационной обработки их удается выделить, проследить и привязать к геологическому разрезу (рис. 2).

Отражения от нефтенасыщенных пластов песчаных пачек среднего майкопа сравнительно малоинтенсивны.

Продольные отражения от границ, залегающих глубже забоя скважины, динамически выражены и высокоинтенсивны. Они связаны с белоглинской свитой и, ориентировочно, с кумским горизонтом.

На сейсмограммах непродольных профилей в нижней части разреза, глубже кровли эоцена, выделяется еще ряд малоамплитудных  $PP$  волн, связанных, вероятнее всего, с горизонтами в эоцене и палеогене, однако эти волны короткопротяженны и не прослеживаются до дневной поверхности.

*Обменные отраженные ( $PS\uparrow$ ) и проходящие ( $PS\downarrow$ ) волны* зарегистрированы на всех глубинах и удалениях в исследуемой скважине. Они выделены и устойчиво прослежены на временах до прихода прямой ( $S$ ) волны. С регистрацией группы  $S$  и  $SS$  волн сейсмическая запись резко осложняется, однако применением ППК удается разделить волны разных типов, изучить их кинематические и динамические характеристики. Обменные отраженные и проходящие волны связаны практически со всей толщей осадков, вскрытой скважиной; они наблюдаются также от горизонтов, залегающих ниже забоя скважины (рис. 3). Здесь в

волновом поле доминируют отражения от границ в сармате — чокраке, сравнительно интенсивны отражения от неоднородностей в меотисе. Границы отражения — обмена для разных ПВ совпадают с небольшими различиями. Проходящие обменные ( $PS\downarrow$ ) волны связаны также со всем разрезом, среди них доминируют на сейсмограммах волны от границ в низах плиоцена и верхах меотиса.

Существенное влияние на интенсивность обменных проходящих волн оказывают удаление, взаимное расположение ПВ и скважины. Волны  $PS\downarrow$  из ближнего продольного ПВ, как и следовало ожидать, характеризуются сравнительно невысокой интенсивностью. Обменные волны из непродольных ПВ, расположенных примерно на одинаковых удалениях, обладают близкой интенсивностью, за редким исключением.

В целом можно отметить, что обменными волнами практически детально освещено строение исследуемой среды.

*Прямая ( $S$ ) волна* зарегистрирована из всех ПВ. Несмотря на то, что возбуждение производилось пневмоисточником во взрывной скважине, она достаточно интенсивна и занимает обширную область пространства скважины.

Прямая ( $S$ ) волна многофазна, низкочастотна, протяженность цуга возрастает с глубиной. На всех удаленных ПВ  $S$  волна регистрируется как рефрагированная.

Прямая ( $S$ ) волна часто поляризована нелинейно, так как обусловлена наложением нескольких колебаний. На полярных сейсмограммах это проявляется в виде наклонных и криволинейных осей синфазности. Волна  $S$  в верхней части разреза разделяется на две волны —  $S_1$  и  $S_2$ , которые относятся к колебаниям типа  $SV$  и  $SH$ , что связано с анизотропными свойствами среды.

*Поперечные ( $SS$ ) волны* зарегистрированы на горизонтальных и наклонных компонентах. Они редко прослеживаются до дневной поверхности. Волны  $SS$  низкочастотны, многофазны, от  $PS$  волн отличаются более низкими видимыми частотами, однако имеют близкие с ними кажущиеся скорости.

Спектр волн  $SS$  располагается в полосе частот 8...25 Гц, а кажущиеся скорости не превышают 1000 м/с.

Расположение  $SS$ ,  $PS\uparrow$  и  $PS\downarrow$  волн в пространстве различно, что позволяет выбрать оптимальные составляющие для их разделения по совокупности параметров — скорости, частоте и поляризации.

Поле помех на вертикальном профиле образовано кратными монотипными и обменными волнами. Основную роль в их формировании играют различные неоднородности геологического разреза. Продольные волны (идушие вверх и вниз) претерпевают отражение, обмен и прохождение и, накладываясь на целевые  $PP$  и  $PS$  волны от песчаных пачек среднего майкопа, затрудняют их выделение.

ООО "Ингеосейс"

# Перебор фиксированных компонент Выделение PP волн Скв. Южно-Ключевая 413 ПВ4

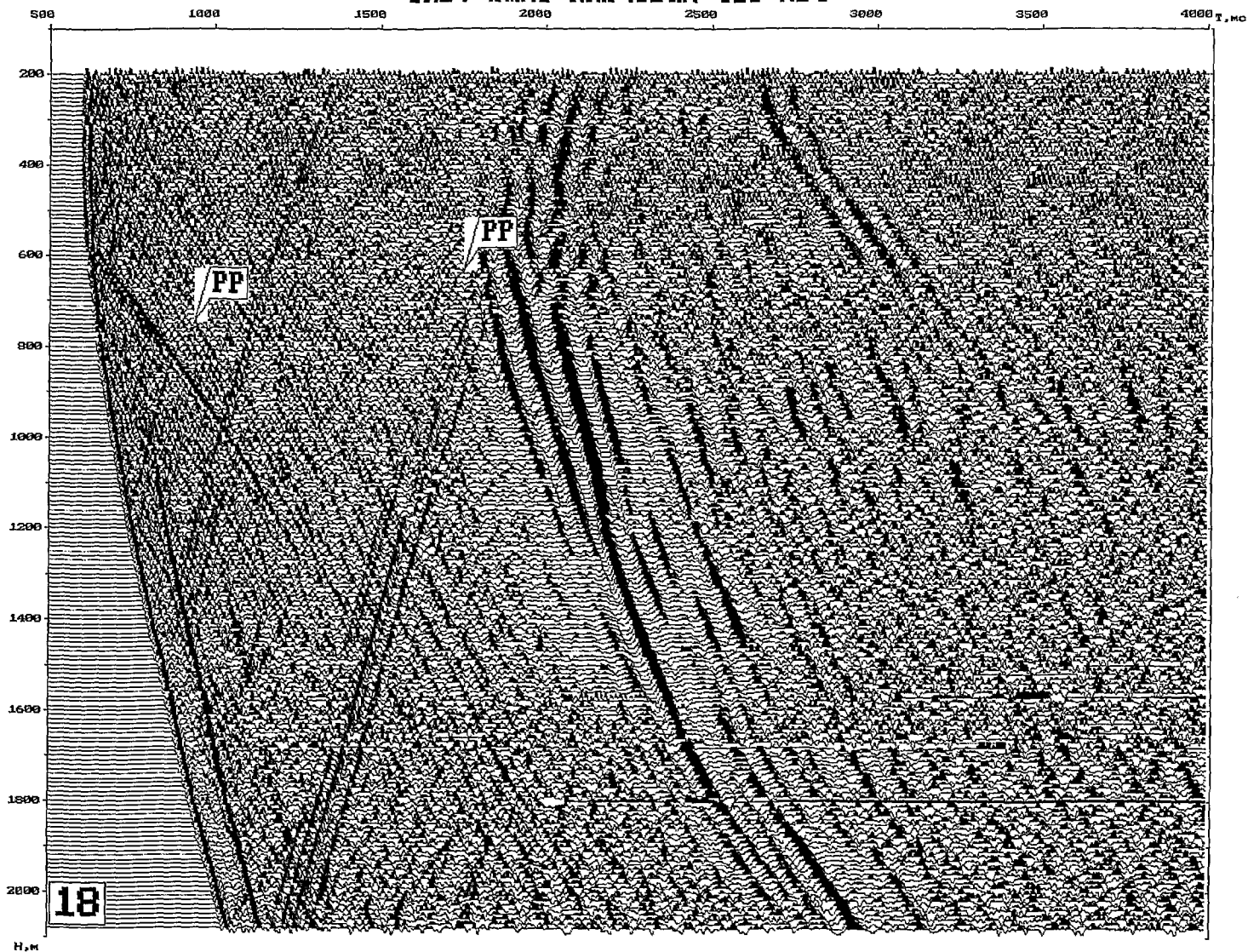


Рис. 1. Сейсмограмма для выделения PP волн (ПВ4, составляющая 18)

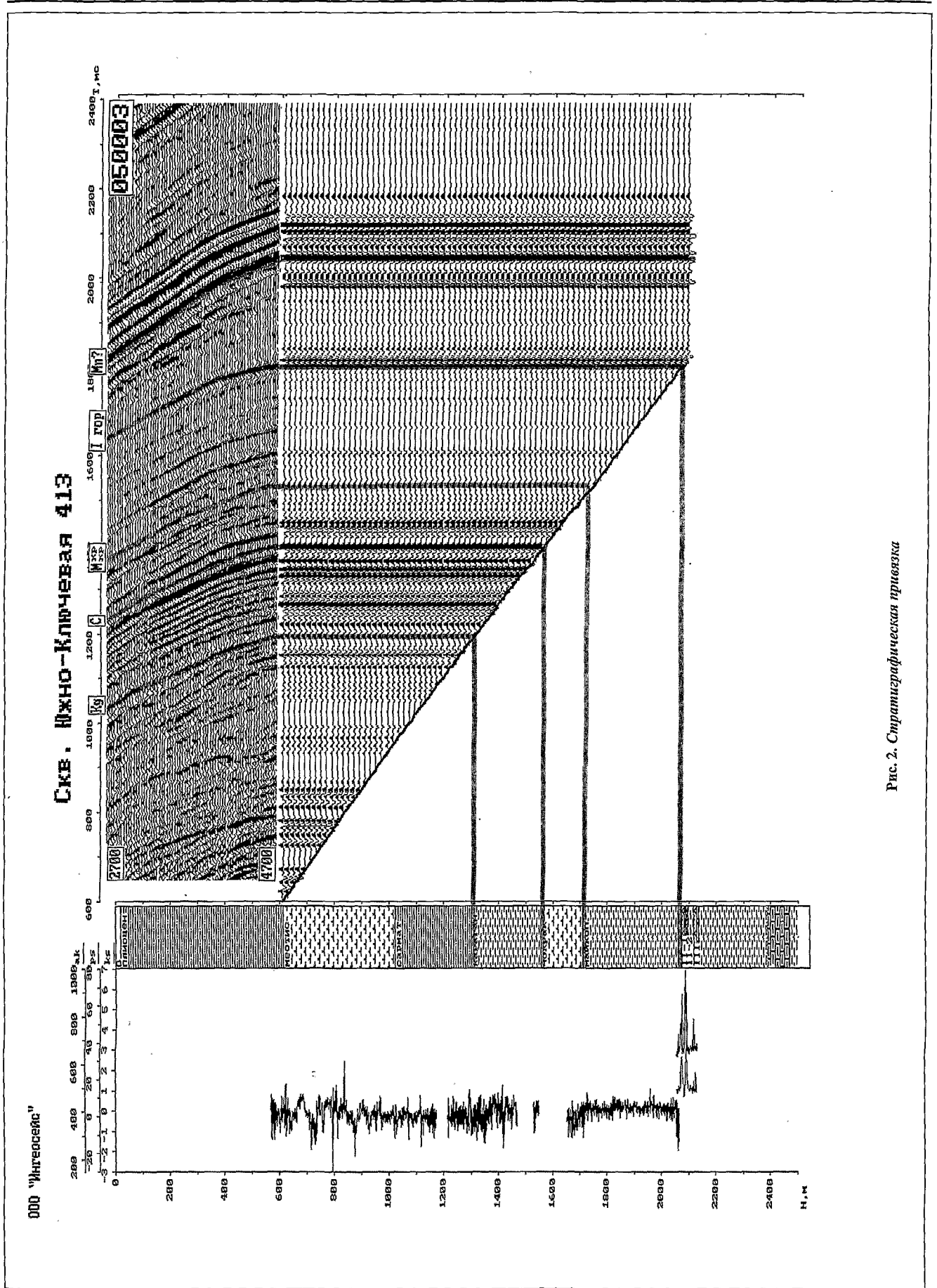


Рис. 2. Стратиграфическая привязка

ООО "Интросейс"

# Перебор фиксированных компонент Выделение PS волн Скв. Южно-Ключевая 413 ПВ2

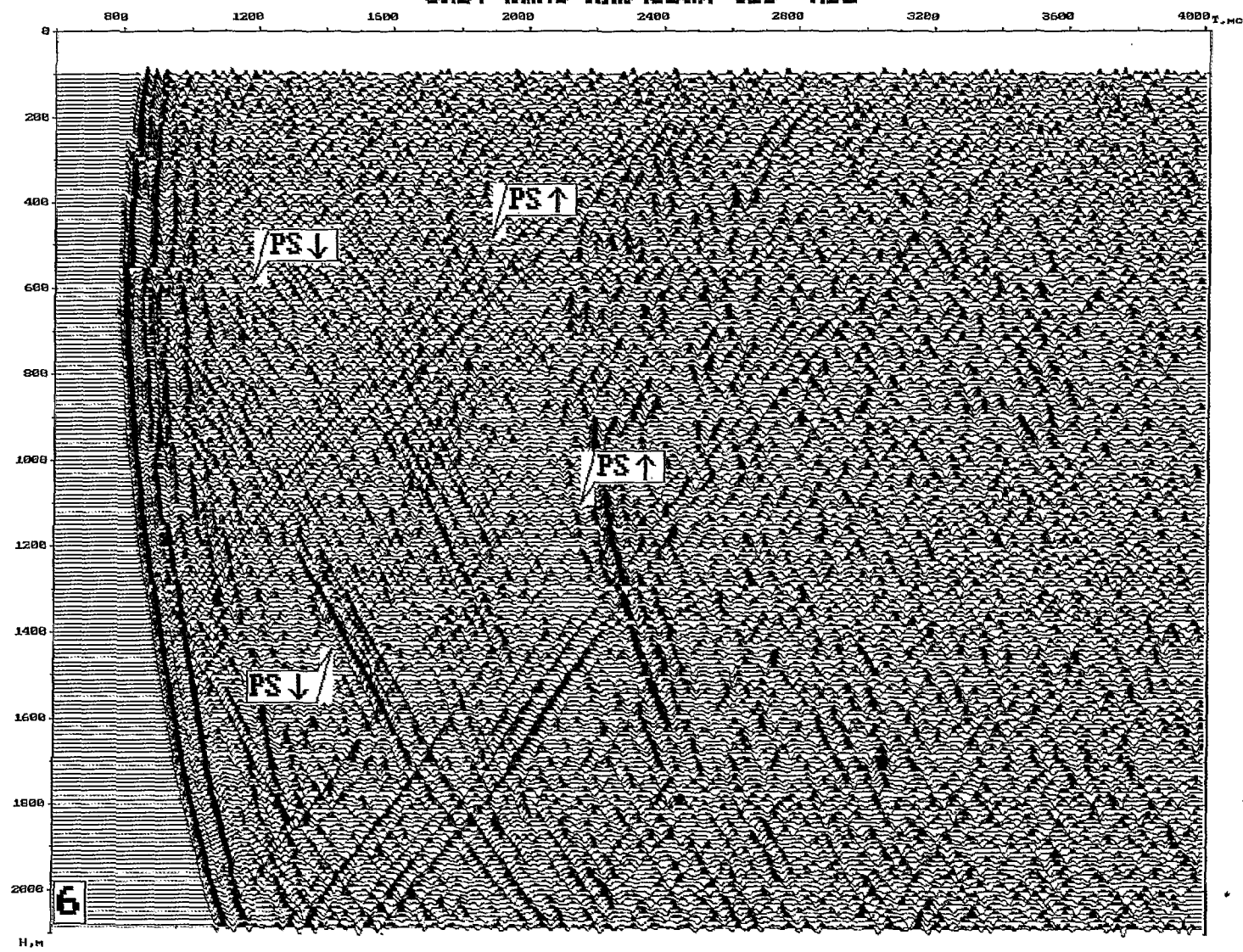


Рис. 3. Сейсмограмма для выделения PS волн (ПВ2, составляющая 6)

ООО "Ингеосейс"

## Скв. Южно-Ключевая 413

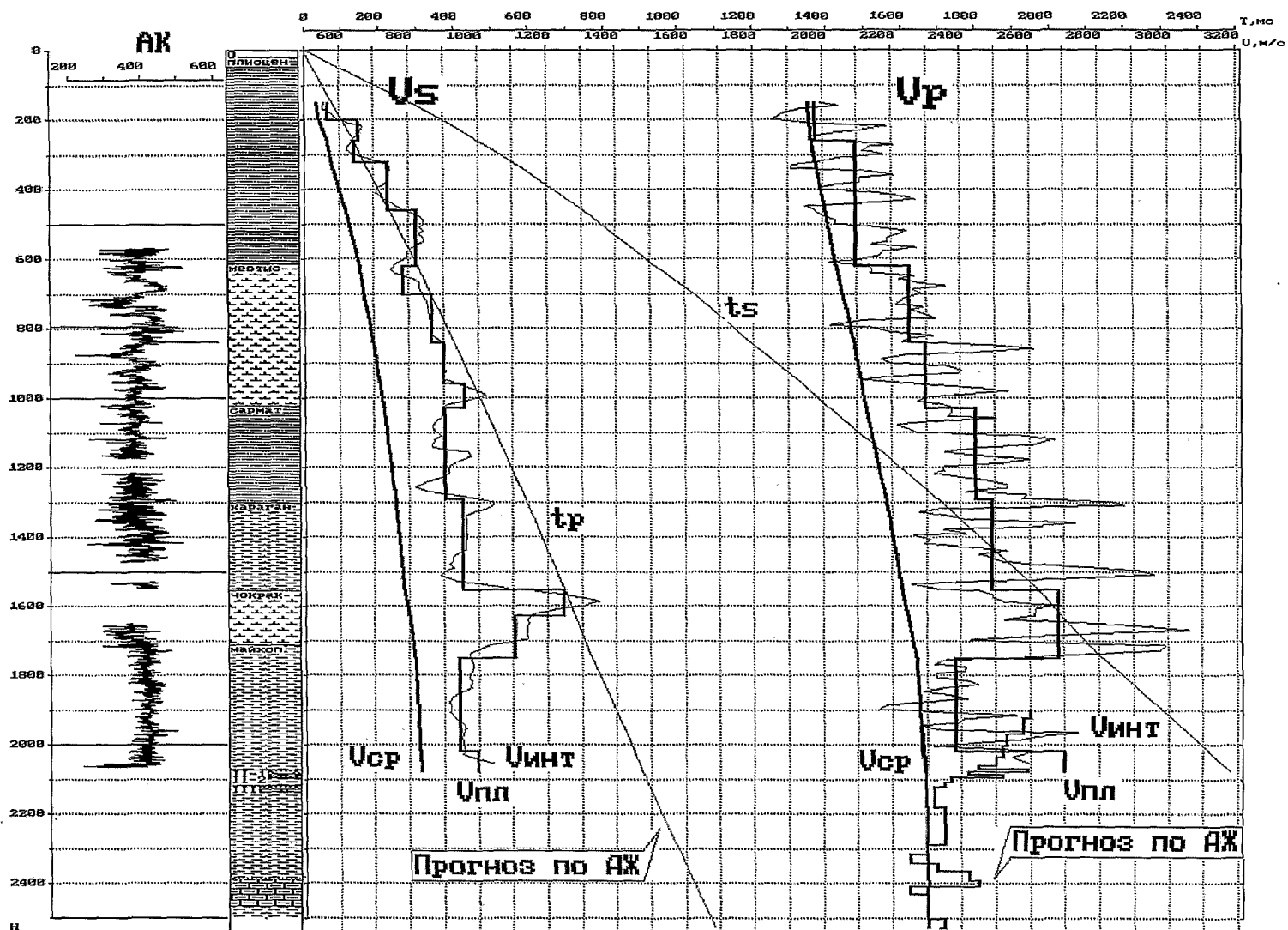


Рис. 4. Скоростная модель среды

В целом, все эти колебания определяют структуру волнового поля на временах, превышающих 0,5...0,6 с. Прослеживанию основных продольных волн они не мешают, но существенно влияют на выделение обменных и поперечных отражений, связанных с глубинными границами.

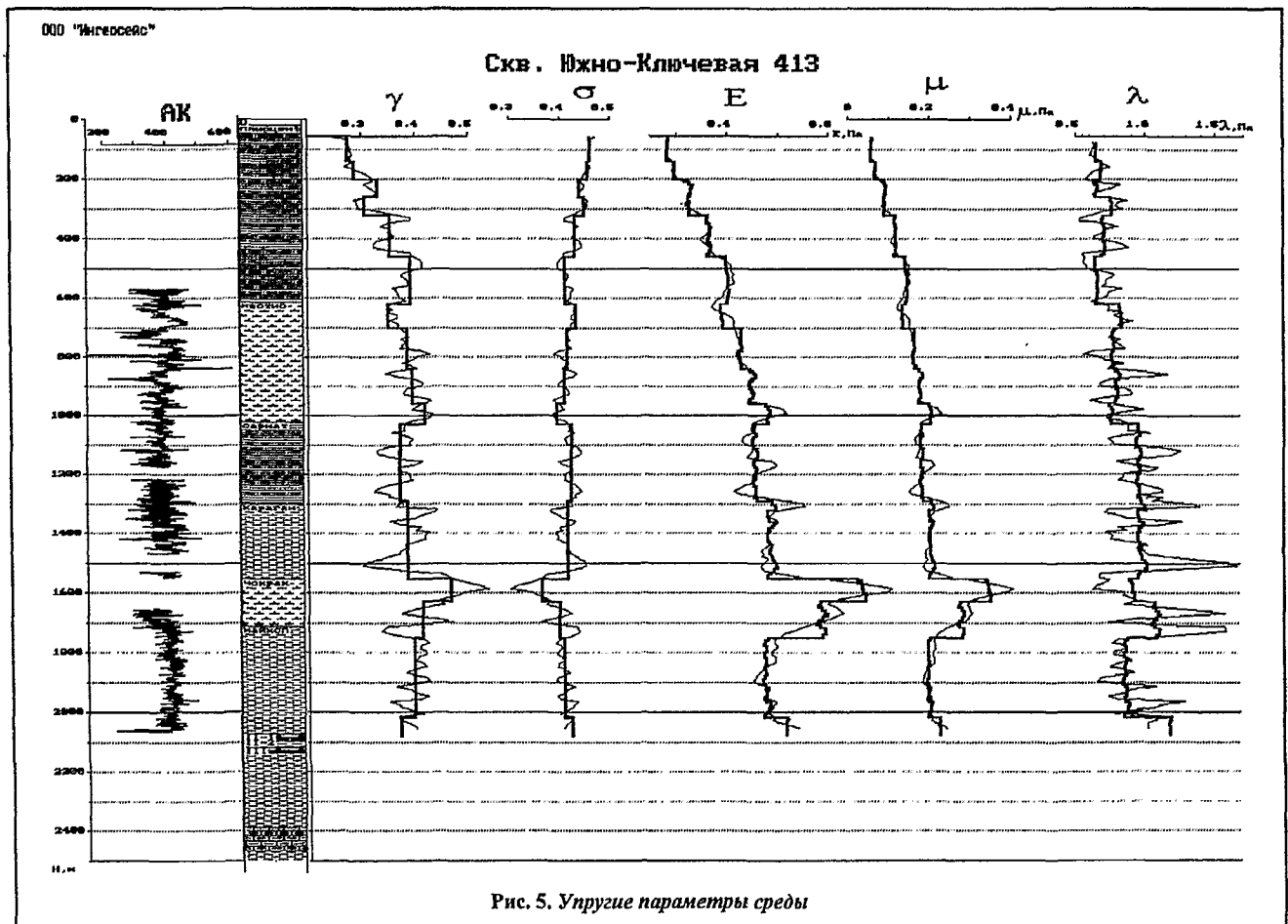
Детальное изучение волнового поля с применением ПК и ППК [3] и приемов поляризационной обработки материалов обеспечило разделение полезных волн и помех, подавление последних.

**4.2. Определение параметров среды и волнового поля, стратиграфическая привязка отражений.** Применение ПМ ВСП обеспечило не только выделение и прослеживание волн различных типов, но и определение их параметров, что невозможно получить традиционной сейсмикой на продольных волнах.

**Скоростная модель, упругодеформационные модули и поглощающие свойства среды.** Данные о скоростях сейсмических волн получены по прямым ( $P$  и  $S$ ) волнам, на основе которых построены вертикальные годографы  $t_p(H)$ ,  $t_s(H)$  и графики средних, интервальных и пластовых скоростей. Скоростная модель среды представлена на рис. 4. Дифференция разреза по скоростям  $V_p$  и  $V_s$  достаточно близка и почти не отличается от дифференциации по данным скв. 485, 410, 411 и 413. Средние скорости продольных волн монотонно возрастают с глубиной от 2020 ( $H = 60$  м) до 2300 м/с ( $H = 2081$  м).

Примерно такой же характер изменения средних скоростей наблюдается для поперечных волн — от 500 ( $H = 60$  м) до 836 м/с ( $H = 2081$  м). Распределение пластовых (интервальных) скоростей несколько иное. В верхней части разреза на глубинах залегания отложений меотиса — сармата  $V_{пл.}$  продольных волн не превышают 2300 м/с. В караган-чокракских отложениях, представленных плотными глинами и мергелями, скорости  $V_p$  принимают значения 2440...2680 м/с. В толще майкопских глин они уменьшаются до 2380 м/с, а затем увеличиваются в песчаниках среднего майкопа до 2700 м/с. Аналогично изменяются скорости  $V_s$ . Наибольшие их значения (1100...1250 м/с) встречены в отложениях чокрака. В песчаниках среднего майкопа они составляют около 1000 м/с. Градиенты интервальных и пластовых скоростей как продольных, так и поперечных волн согласуются между собой, однако на графиках  $V_{инт.}$  выделяются слои относительно меньшей толщины, чем на графиках  $V_{пл.}$

Рассмотрим также изменение упругодеформационных модулей среды ( $\gamma$  и  $\sigma$ ), тесно связанных с литологией и нефтегазонасыщением (рис. 5) [4]. Минимальные значения  $\gamma$  и максимальные  $\sigma$  (коэффициент Пуассона) отмечаются в самой верхней неоднородной части геологического разреза, сложенного песками, слабыми глинами, алевролитами. Здесь они практически достигают предельных значений ( $\gamma = 0,24$  и  $\sigma = 0,47$ ).



Общее изменение параметров  $\gamma$  и  $\sigma$  отражает влияние уплотнения пород с глубиной, что проявляется в увеличении  $\gamma$  до 0,40 и уменьшении  $\sigma$  до 0,404. На этом фоне, как и в других скважинах на исследуемой площади, выделяется интервал 1538...1707 м с относительно повышенными (0,38...0,52) значениями  $\gamma$  и пониженными (0,41...0,31)  $\sigma$ , что обусловлено литологическими особенностями отложений чокрака.

Повышенными значениями в указанном интервале характеризуются также модуль Юнга ( $E$ ), постоянные Ламе ( $\lambda$  и  $\mu$ ), что свидетельствует о возможности их использования для изучения неоднородностей геологического разреза, в том числе и нефтенасыщения.

Поглощающие свойства среды изучали по графикам изменения амплитудно-частотных спектров и пласовых коэффициентов эффективного затухания с глубиной по  $P$  волне.

Основная энергия колебаний сосредоточена в диапазоне 10...80 Гц. Коэффициент эффективного затухания ( $\alpha_{P_{эф}}$ ) был изучен во всем исследованном интервале геологического разреза.

Вдоль вертикального профиля (ближний ПВ) максимум основного спектра смещается от 45 до 35 Гц, причем без сужения ширины спектра с глубиной.

По изменению коэффициента эффективного затухания среда может быть представлена рядом слоев, связанных с литолого-стратиграфическими разностями геологического разреза. Однако основной интерес пред-

ставляют определения  $\alpha_{P_{эф}}$ , отложений караганчокрака и майкопа, выделены третий и четвертый слой.

Третий слой (глубины 1300...1700 м) охватывает мергели, песчаники, глинистые известняки караганчокрака и отмечается минимальными значениями  $\alpha_{P_{эф}} = (1 \cdot 10^{-3} 1/м)$ .

Четвертый слой (глубины 1700...2081 м) сложен глинами и лишь в самых низах песчаными пачками среднего майкопа. От вышележащего слоя отличается относительно повышенным затуханием ( $\alpha_{P_{эф}} = 2...3,5 \cdot 10^{-3} 1/м$ ). В нефтенасыщенных майкопских песчаных пачках значения  $\alpha_{P_{эф}}$  резко возрастают,

однако этот интервал относительно мал и по нему невозможно судить о влиянии нефтенасыщения на поглощение.

**Поляризация сейсмических волн.** Количественной характеристикой поляризации колебаний являются модуль полного вектора смещений  $|\vec{A}|$ , угол  $\varphi$  с вертикалью и азимут  $\omega$  направления движения. Их изучение позволяет получить детальные сведения о среде, поскольку изменение направления движения частиц может быть обусловлено особенностями скоростного и структурного строения среды. На графиках  $\varphi$  ( $H$ ) отмечены существенные изменения углов  $\varphi$  вдоль вертикального профиля. На рис. 6 в качестве иллюстрации приведены данные по скв. 413.

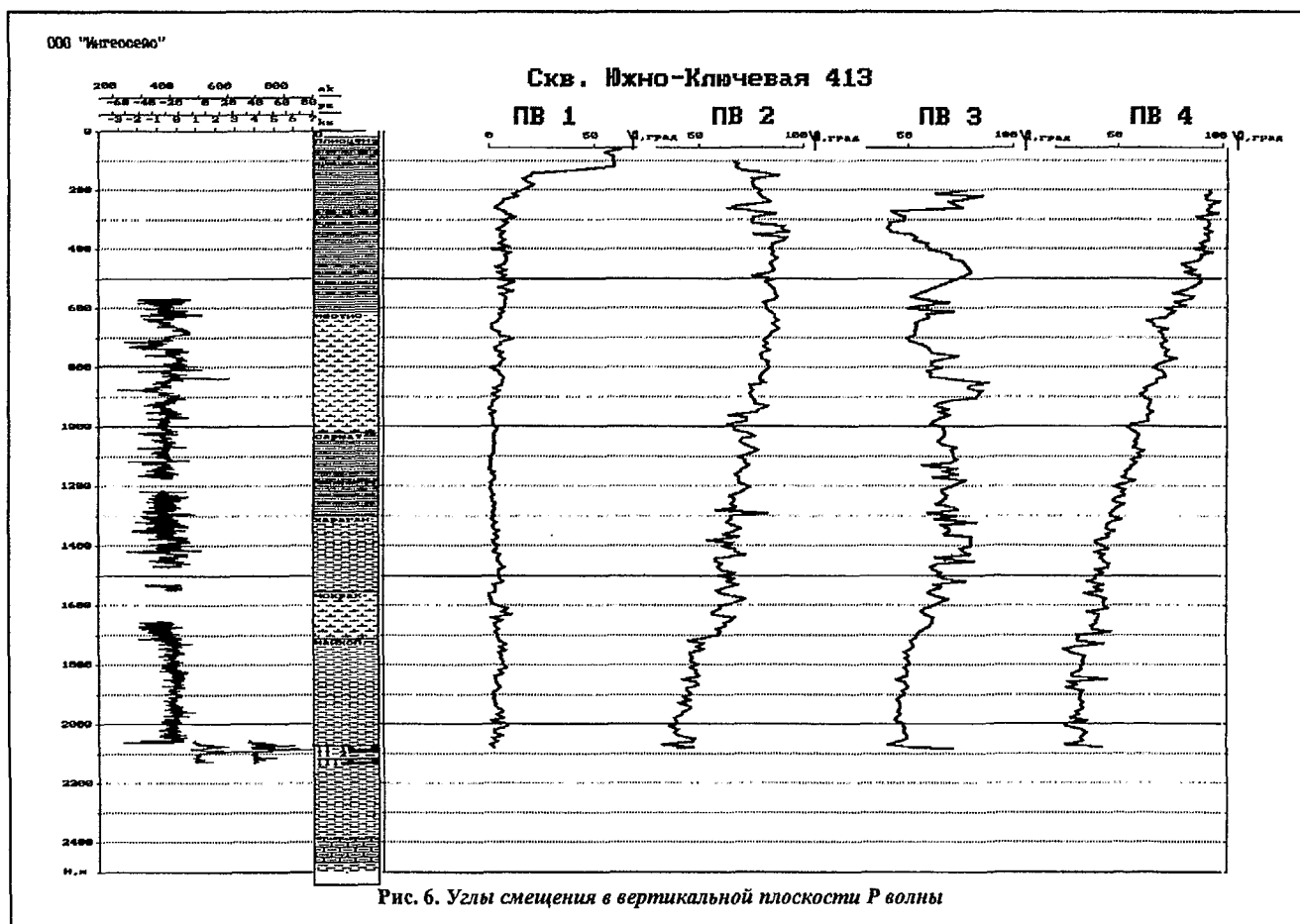


Рис. 6. Углы смещения в вертикальной плоскости  $P$  волны

На продольном профиле в средней части разреза на глубинах до 1000...1500 м угол  $\varphi$  с вертикалью уменьшается до 5...8°. Ниже вплоть до глубины 1900 м, величина  $\varphi$  колеблется около этого значения, отдельные выбросы до 12° приурочены к границам скачка скоростей. В глинистой толще среднего майкопа происходит уменьшение угла до 2...3°.

На непродольных профилях  $P$  волна в верхней части разреза поляризована близко к горизонту. Углы смещений в вертикальной плоскости в среднем достигают 60...80° и более.

Графики  $\varphi(H)$  в вертикальной плоскости построены для трех непродольных ПВ на составляющих спектра 20, 40, 60 Гц. Верхние 300...500 м характеризуются отрицательной кажущейся скоростью ( $P$  волна подходит снизу), обусловленной вертикальным градиентом скорости продольных волн; соответственно, значения  $\varphi$  здесь в целом больше 90°.

Изрезанность кривых и скачки  $\varphi$  различны для разных ПВ и определяются скоростным разрезом. Участки профиля, приуроченные к наиболее резким скоростным границам, проявляются на наблюдаемых вертикальных годографах  $t(H)$  сменой волн в первых вступлениях, где выделяются отрезки с отрицательной кажущейся скоростью.

Можно отметить, что большинство изломов совпадает с границами скоростного разреза. Закономерность изменения  $\varphi$  подтверждается тем фактом, что

графики  $\varphi(H)$  для различных ПВ коррелируют между собой.

В интервале глубин 1300...2000 м значения  $\varphi$  уменьшаются до 50...55°, что свидетельствует об уменьшении скоростей. Ниже по разрезу (от 2000 до 2080 м) наблюдается увеличение значений  $\varphi$  (60...80°), что указывает на повышение скоростей.

Изменения угла  $\varphi$  с вертикалью по  $P$  волне хорошо коррелируется с изменениями интервальной скорости и в целом согласуется с данными АК. На этом графике  $\varphi(H)$  кровля продуктивной пачки II среднего майкопа характеризуется четким увеличением угла  $\varphi$  по наблюдениям из непродольных ПВ.

Особенности литологии чокракских отложений проявляются повышенной дифференциацией по значениям угла  $\varphi$ , в то время как в однородной глинистой толще майкопа наблюдается закономерное уменьшение угла  $\varphi$  с глубиной.

**Прогнозирование акустической жесткости ниже забоя исследуемой скважины.** Прогнозная кривая АЖ [5] получена по результатам обработки вертикального профиля в интервале глубин 1900...2000 м. На ней надежно выделяются слои с пониженными и повышенными значениями акустической жесткости, причем в исследуемом интервале глубин она перекрывает вскрытую скважиной часть геологического разреза (рис. 7), что позволяет оценить достоверность прогноза и получить скоростную модель в сравнении

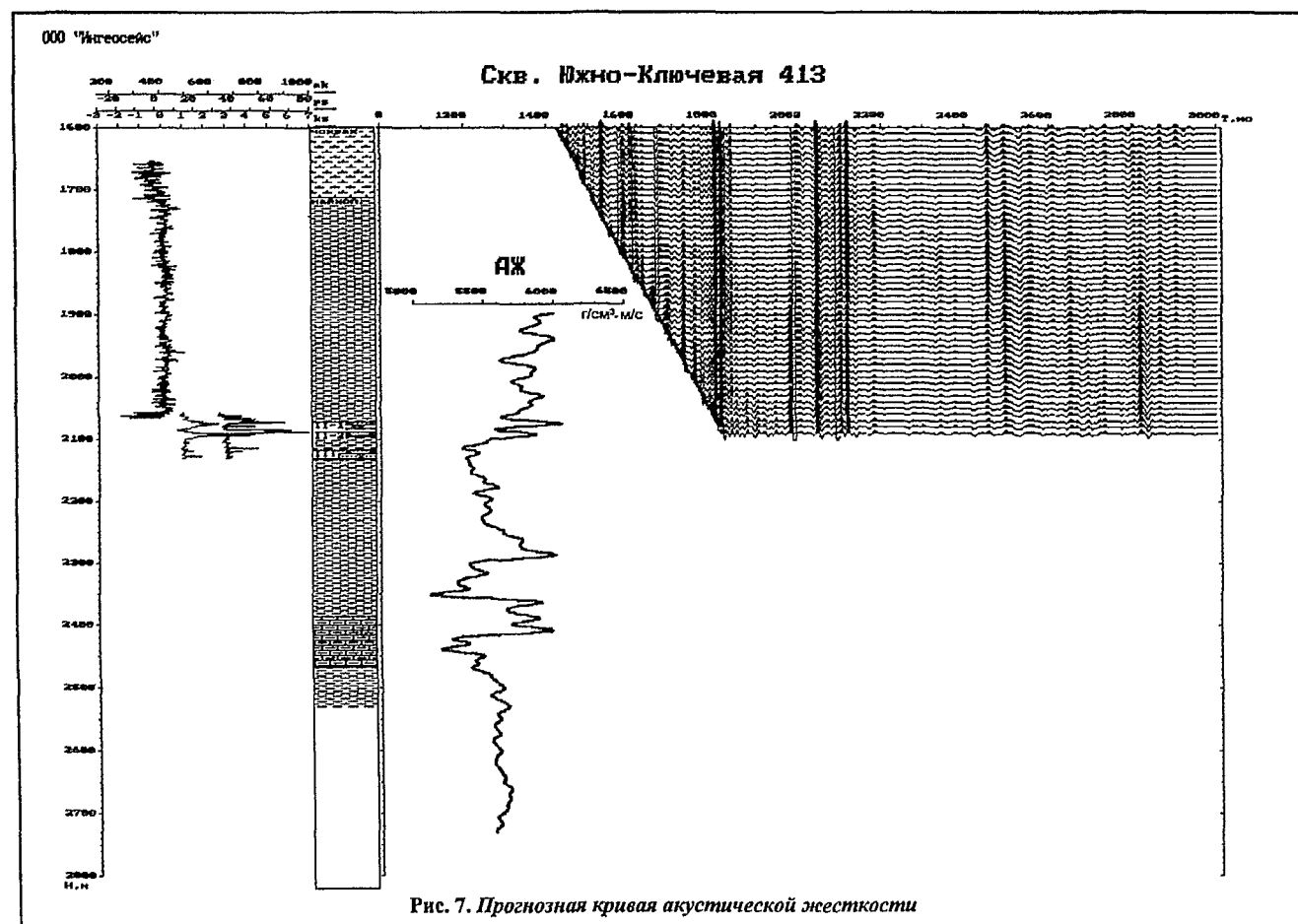


Рис. 7. Прогнозная кривая акустической жесткости

с данными обработки первых вступлений  $P$  волн.

На прогнозной кривой АЖ интервалам залегания нефтенасыщенных пластов пачек II-1 и II-2 среднего майкопа соответствуют пониженные значения акустической жесткости. Здесь пачка II-1 выделяется невысокими значениями АЖ, равными  $5650 \text{ г/см}^3 \cdot \text{м/с}$ , а пачка II-2 — значениями  $5600 \text{ г/см}^3 \cdot \text{м/с}$  (см. рис. 7).

Глубже на прогнозной кривой довольно уверенно отмечаются максимумы акустической жесткости ( $6050 \text{ г/см}^3 \cdot \text{м/с}$ ), возможно, связанные с границей в подошве майкопа и отражающими горизонтами в эоцене (белоглинская, кумская свиты и др.). Минимальные значения акустической жесткости на прогнозной кривой наблюдаются на глубинах 2380 и 2420 м (соответственно  $5600$  и  $5700 \text{ г/см}^3 \cdot \text{м/с}$ ).

Ниже интервала 2450...2650 м прогнозный геологический разрез характеризуется слабой скоростной дифференциацией среды. На сейсмограмме ВСП это проявляется при отсутствии динамически четко выраженных отражений.

Полученные данные позволили нарастить вертикальный годограф  $P$  волны до глубины 2730 м. В интервале глубин, где были выполнены исследования ПМ ВСП, прогнозные скорости практически совпали с наблюдаемыми.

**Стратиграфическая привязка волн.** Стратиграфическая привязка отраженных  $PP$  волн осуществлена на основании взаимной увязки волновых полей ВСП, ОГТ и данных ГИС.

С этой целью использован наземный сейсмический профиль 2D, проходящий в 450 м от скв. 413.

Можно считать, что волновые поля на вертикальных и наземном профилях увязываются между собой, хотя запись, зарегистрированная во внутренних точках среды, по всем скважинам отличается более высокой разрешенностью. Кроме того, данные ВСП и ОГТ получены в различных условиях, поэтому не все группы волн четко увязаны между собой.

После приведения формы записи МОВ ОГТ к форме записи ВСП качество прослеживания отраженных волн на наземном профиле несколько улучшилось, а информативность увеличилась. По наблюдениям ВСП выполнена, прежде всего, стратиграфическая привязка целевых майкопских песчаников. В соответствующем волновом пакете (в скв. 413) выделяются отражения от пачек II-1, II-2, первого горизонта среднего майкопа. Они отличаются сравнительно невысокой интенсивностью и низкой динамической выразительностью по сравнению с отражениями от выше- и нижележащих пачек. На исходных записях наблюдаются снижение регулярности сейсмической записи, отсутствие протяженных осей синфазности. Отмеченные особенности отражают по наблюдениям ВСП фаціальную изменчивость пород в условиях Южного борта Западно-Кубанского прогиба.

Глубже песчаников среднего майкопа на сейсмических записях достаточно уверенно выделяется группа интенсивных отражений, связанных с подошвой майкопа. На наземном профиле в этой группе

отражений доминирует волна, регистрирующаяся на сейсмограмме ВСП в средней части на временах 1,95...2,18 с. На больших временах наблюдается еще ряд отраженных продольных волн, приуроченных к более глубоким границам, связанным с эоценом и, возможно, палеоценом.

Анализ частотного состава упругих колебаний показал, что отражения от нефтенасыщенных песчаников среднего майкопа характеризуются относительно низкочастотным составом по сравнению с отражениями от границ в глинистой толще майкопа.

**4.3. Строение околоскважинного пространства.** Полученные временные и глубинные разрезы ВСП ОГТ для  $PP$  и  $PS$  волн по всем ПВ и всем исследованным скважинам на этой площади были совмещены и увязаны между собой. По интервальным временам  $\Delta t_{oP}$  и  $\Delta t_{oPS}$  временных разрезов продольных и обменных волн были определены интервальные значения упругого параметра  $\gamma_t$ , по формуле

$$\gamma_t(x) = \frac{\Delta t_{oP}}{2\Delta t_{oPS} - \Delta t_{oP}}$$

Кроме того, по разрезам продольных волн был выполнен сейсмофаціальный анализ. В качестве иллюстрации рассмотрим два профиля — 0241304 (рис. 8) и 0341304 (рис. 9), построенных по наблюдениям в скв. 413 Южно-Ключевой (Восточный Узун).

Профиль I (0241304) протяженностью 1400 м проходит через скв. 413 Южно-Ключевой площади (Восточный Узун) с запада на восток. Глубинное строение освещается в интервале глубин от 1720 м (кровля майкопа) до 2500 м.

Все геологические границы характеризуются пологим моноклинальным воздыманием слоев с запада на восток, при этом отмечаются уменьшение толщины песчаных пачек среднего майкопа и их постепенное выклинивание в этом же направлении. Несмотря на небольшую протяженность разреза ВСП ОГТ, на нем отмечены изменения динамических характеристик (амплитуд, интенсивностей, частот) по отдельным отражающим элементам, а также угловые несогласия. В нижней части разреза, предположительно приуроченной к подошве майкопа — верхам эоцена, выделяются своей динамической выразительностью отражающие горизонты, относимые к кровле белоглинской свиты и кумскому горизонту. Более простое строение характерно для вышележащей толщи.

Профиль II (0341304) примерно с такой же протяженностью (более 1400 м) проходит через скв. 413 с северо-запада на восток. На нем достаточно четко отмечаются вначале уменьшение, а затем увеличение толщины осадков среднего майкопа, начиная с расстояния 400...500 м.

При этом возможно фаціальное замещение песчаников глинами, что наглядно иллюстрируется глубинным разрезом по  $PS$  волнам, где примерно в указанном интервале профиля наблюдается изменение интенсивности отражающих горизонтов. Здесь также отмечается сложное взаимоотношение границ выклинивания

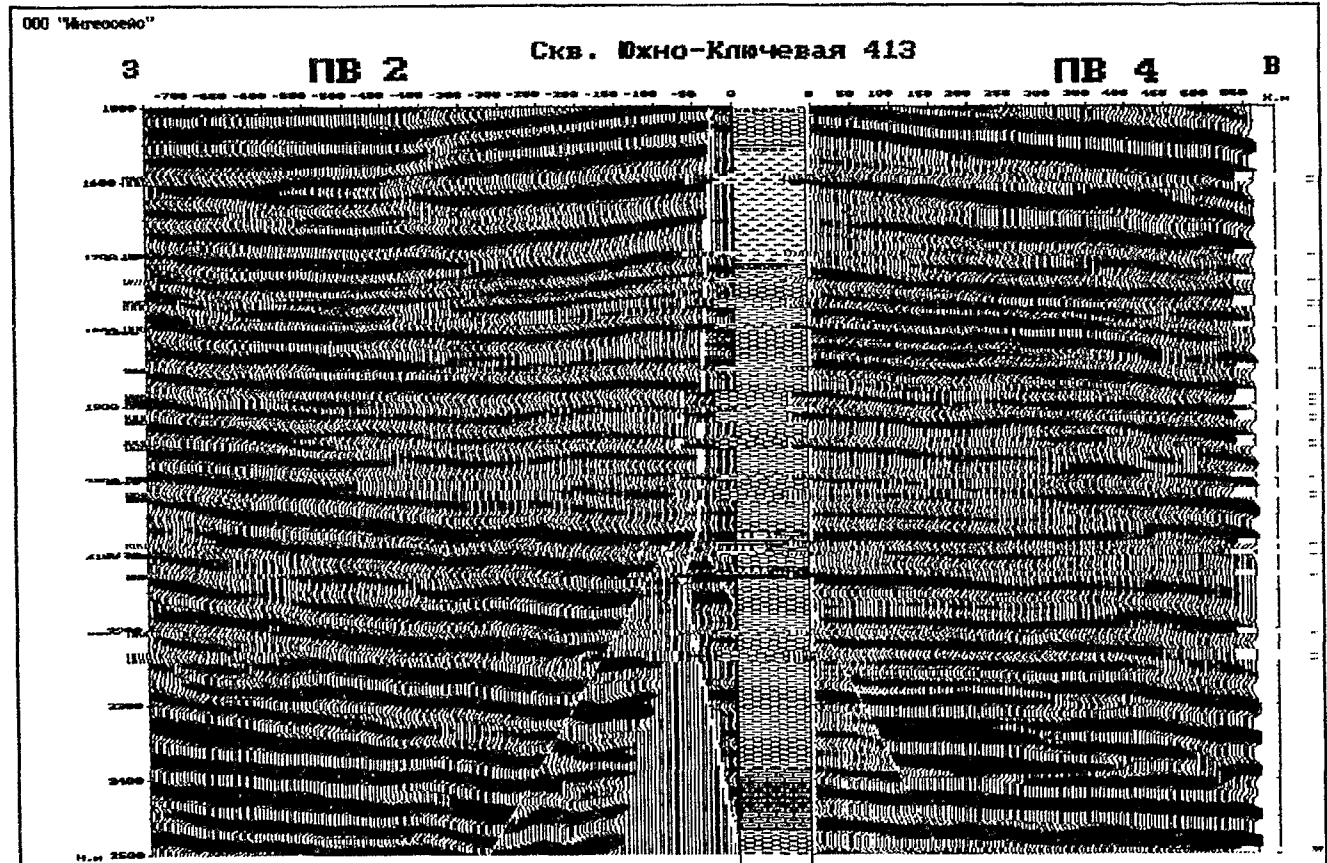


Рис. 8. Глубинный разрез ВСП ОГТ по PP и PS волнам (ПВ2 — скв. 413 — ПВ4)

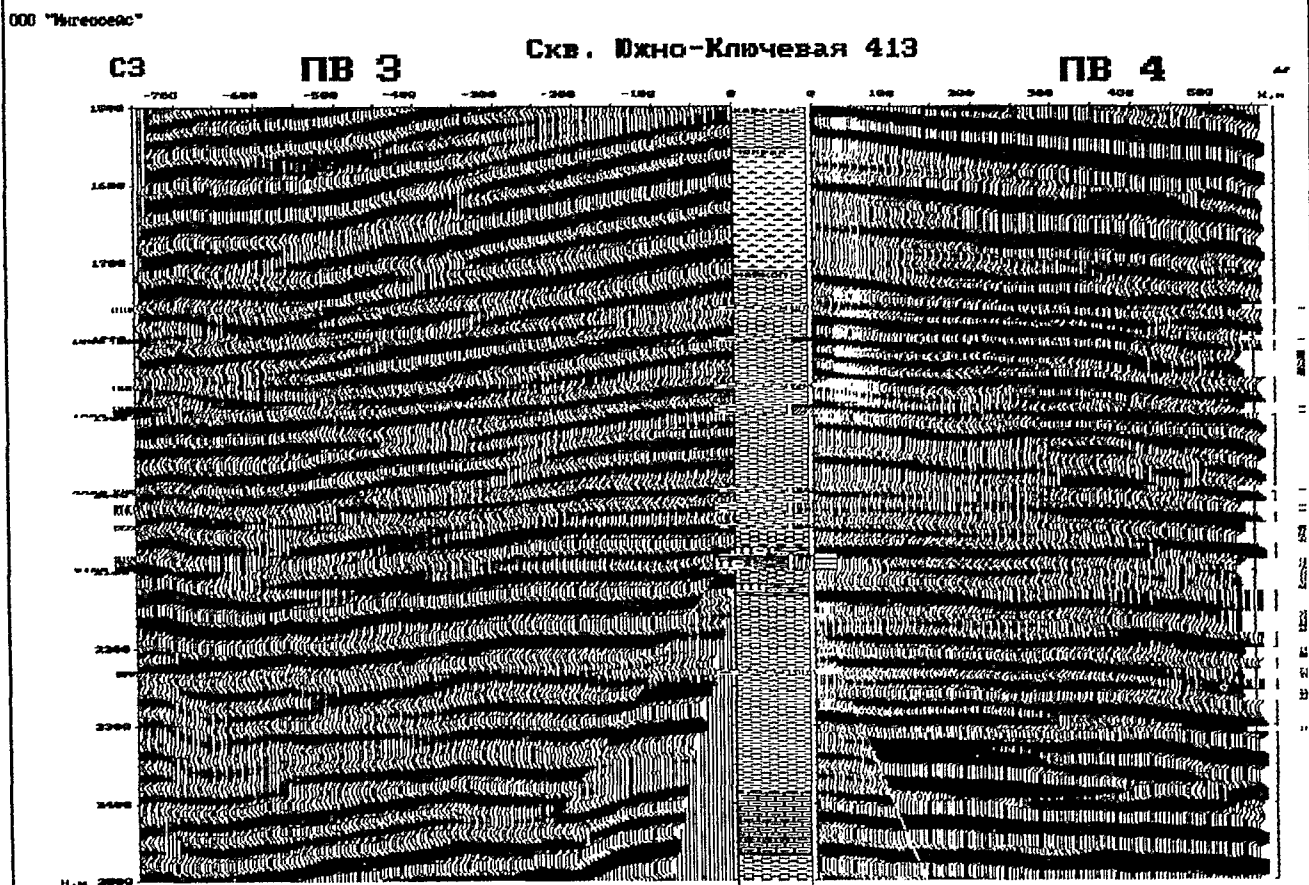


Рис. 9. Глубинный разрез ВСП ОГТ по PP и PS волнам (ПВ3 — скв. 413 — ПВ4)

на глубинах залегания среднемайкопских и более глубоких отложений.

Структурная схема по кровле сейсмического горизонта среднего майкопа характеризует строение этой поверхности в околоскважинном пространстве (рис. 10). Несмотря на недостаточное количество отработанных ПВ для выполнения необходимых построений, отметим, что на структурной схеме проявляется выклинивание песчаников в западном и северо-западном направлениях, однако граница выклинивания сдвигается на запад, что существенно расширяет площадь нефтенасыщения

месторождения Южно-Ключевое (Восточный Узун).

Совместная интерпретация разрезов *PP* и *PS* волн. Полученные временные и глубинные разрезы ВСП ОГТ использованы для построения графиков  $\gamma_i(x)$  в окрестности исследуемой скважины. Предварительно было проведено отождествление *PP* и *PS* волн, связанных с кровлей и подошвой среднемайкопских песчаников.

Для повышения точности определения параметра  $\gamma_i(x)$  при отождествлении учитывалась также форма записи анализируемых волн.

В результате построены разрезы  $\gamma_i(x)$  по трем лучам — восточному, западному и северо-западному, причем протяженность разрезов  $\gamma_i$  не превышала 250...350 м, что определялось прослеживаемостью обменных (*PS*) волн, тогда как для *PP* волн она достигала 600...800 м. Наклоны границ на разрезах по обоим типам волн близки. Данные  $\gamma_i(x)$  хорошо увязываются между собой и с определениями  $\gamma$  по вертикальному профилю. Они использованы для оценки нефтенасыщенности среднемайкопских отложений.

Изменение параметра  $\gamma_i$  для целевого интервала иллюстрируется схемой площадного распространения (рис. 11). В направлении с северо-запада на восток параметр  $\gamma_i$  показывает большую дифференцированность анализируемого комплекса в околоскважинном пространстве. Здесь значения  $\gamma_i$  колеблются в пределах 0,47...0,63, причем выделяются две довольно четкие аномалии с максимумами на удалении 50 м к востоку ( $\gamma_i = 0,55$ ) и 150 м к западу ( $\gamma_i = 0,65$ ) от скважины.

В направлении запад — восток по параметру  $\gamma$  отмечается довольно резкое уменьшение его значения — от 0,57 до 0,37 на удалении 260 м от скважины. Эти данные  $\gamma_i(x)$  по трем лучам были использованы для дополнения и расширения ранее построенной площадной схемы распределения параметра  $\gamma$ , по результатам работ ПМ ВСП в скв. 410, 411, 485 Южно-Ключевой площади (Восточный Узун).

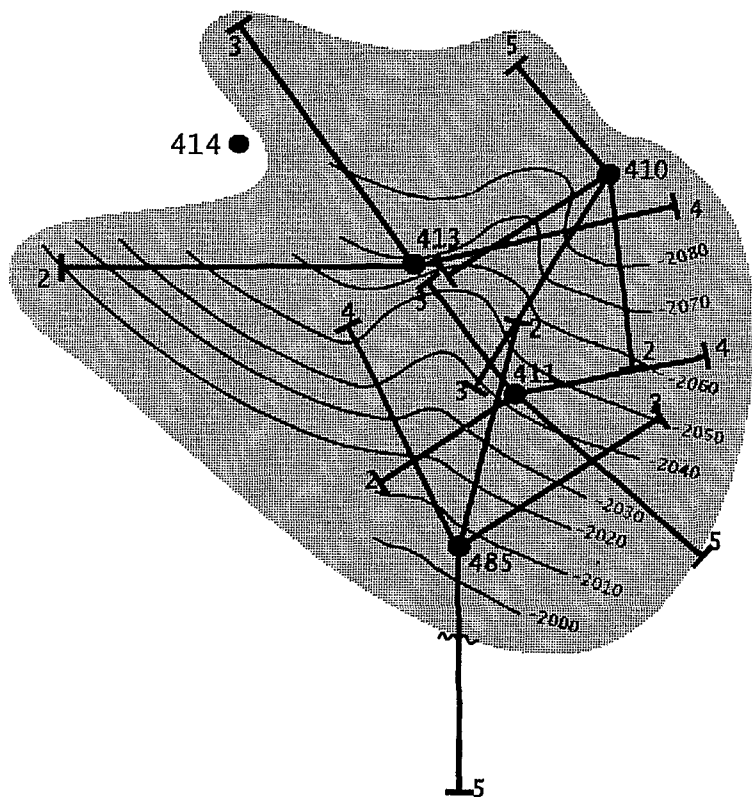
На схеме  $\gamma_i$  довольно уверенно выделяется область наибольших значений  $\gamma_i$  (0,46...0,65), связанная с нефтенасыщением песчаных коллекторов майкопа в околоскважинном пространстве.

ООО "Ингеосейс"

Структурная схема строения по кровле сейсмического горизонта среднего майкопа (М - II пачка)

л.п. +150

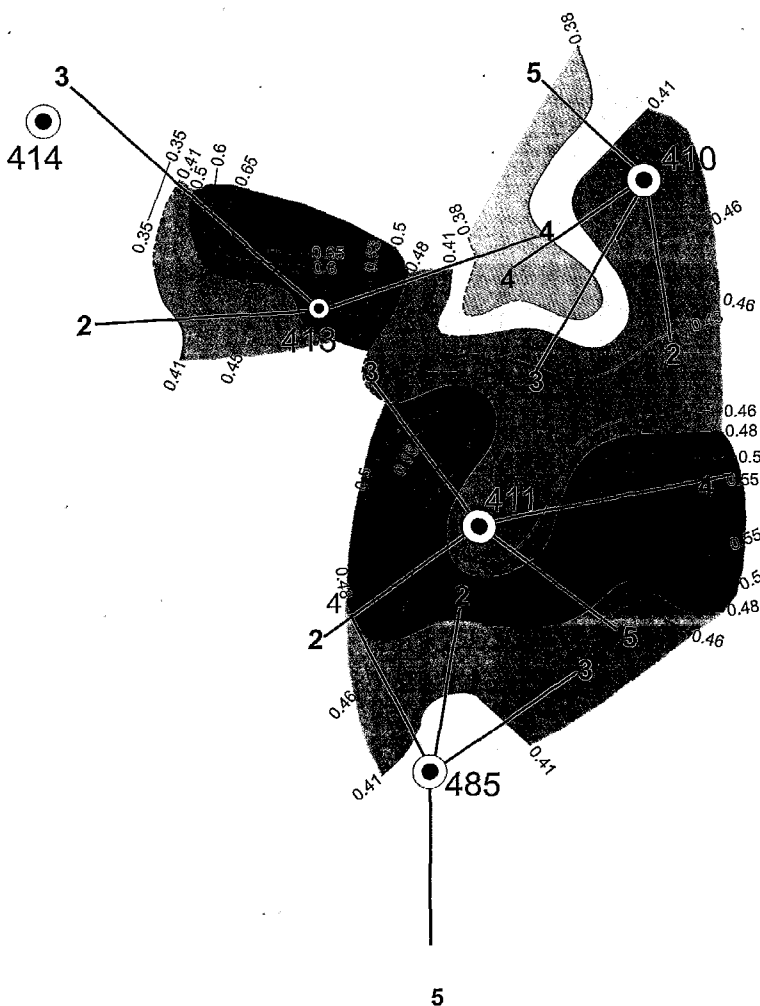
Масштаб 1:10 000



Условные обозначения:

- 2080 Изогипсы по кровле II песчаной пачки I гор. Мкр.
- Область распространения коллекторов II пачки (прогноз) в пределах изученной ПМ ВСП площади
- ~ Участок замещения коллекторов по данным ПМ ВСП

Рис. 10. Структурная схема по кровле сейсмического горизонта среднего майкопа



Условные обозначения:


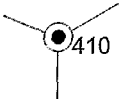
-  0.5      Линии равных значений
- $\gamma_t = 0,48...0,55$       Высоковоероятное нефтенасыщение
- $\gamma_t = 0,46$       Нефтенасыщение
- $\gamma_t = 0,41$       Слабое нефтенасыщение
- $\gamma_t = 0,38$       Водонасыщение?
-  410      Скважина глубокого бурения и отрезки  
лучей ПМ ВСП с данными о параметре  $\gamma_t$

Рис. 11. Схема площадного распространения параметра  $\gamma_t$  (скв. Узун 410, 411, 485, Южно-Ключевая 413). М 1:10000

Скв. Южно-Ключевая 413 ПВ2

ООО "Нисеосейс"

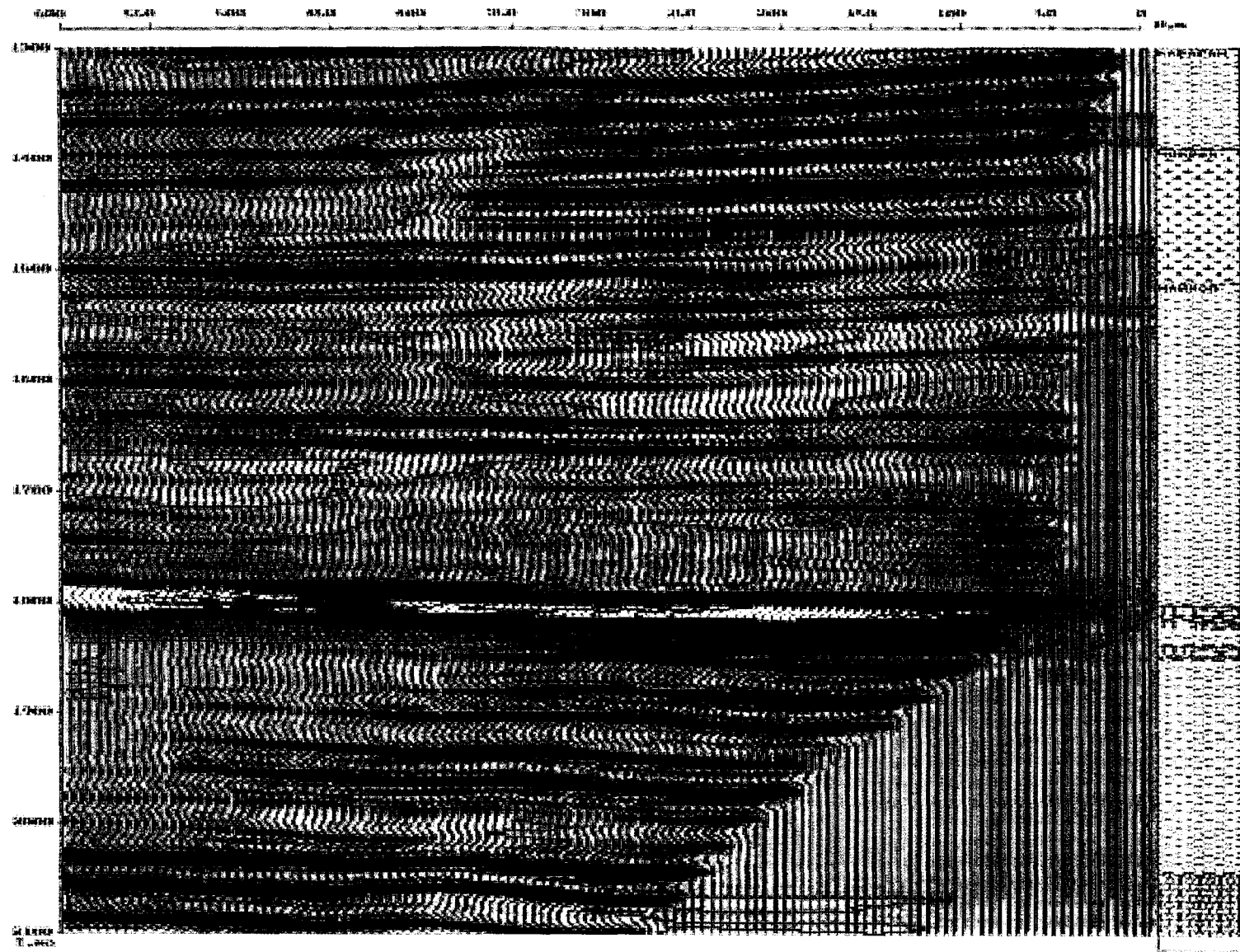


Рис. 12. Комбинированный разрез аномалий САЭ и поля ВСП ОГТ РР волны (ПВ2)

Характерно, что в этой части схемы установлены аномалии нефтенасыщения по сейсмоакустическому энтропийно-энтальпийному анализу — САЭЭ [6].

Таким образом, результаты выделения, отождествления *PP* и *PS* волн от одних и тех же границ отражения — обмена характеризуют возможности прогноза коллекторов и нефтенасыщения на основе поляриационного метода ВСП и САЭЭ анализа.

**Прогноз нефтенасыщения.** По результатам обработки материалов ПМ ВСП построены карты распределения комбинированных оценок в вертикальной плоскости САЭЭ, которые представлены на рис. 12, 13. На сейсмограмме ВСП с выведенными на вертикаль осями синфазности продольных отраженных волн и на временных разрезах ВСП ОГТ по *PP* волнам цветом показаны области распространения в плоскости исследуемых полей пониженных и повышенных САЭЭ оценок, иллюстрирующих характер и степень нефтегазонасыщенности пород среднего майкопа.

Как видно из рис. 13 (скв. 413), нефтепродуктивный интервал разреза проявляется в виде повышенных оценок САЭЭ на временах 1,8 с из продольного ПВ. На непродольных ПВ области повышенных оценок САЭЭ аномалий достаточно уверенно увязываются с определениями из продольного ПВ. В направлении с востока на запад времена их регистрации уменьшаются от 1,82...1,83 до 1,79...1,8 с, т. е. отме-

чается подъем нефтенасыщенных пачек в направлении контура их выклинивания на Южно-Ключевой площади (Восточный Узун). Полученные оценки по лучам из ПВ 2,3,4 были использованы для дополнения схемы площадного распространения нефтенасыщенности среднемайкопских пачек (II-1 и II-2), построенной ранее по наблюдениям ПМ ВСП в скв. 410, 411, 485. На дополненной схеме (рис. 14) по данным скв. 413 Южно-Ключевой площади (Восточный Узун) площадь развития УВ расширяется и распространяется в западном и северо-западном направлениях.

Таким образом, можно отметить подтверждение в САЭЭ оценки продуктивности песчаных пачек среднего майкопа по данным продольного ПВ, причем информативность продольного и непродольных наблюдений ПМ ВСП в поле САЭЭ находится на одном уровне, что позволяет их комплексировать для исследований в аналогичных сейсмогеологических условиях.

Кроме того, прогноз нефтенасыщения от скв. 413 Южно-Ключевой площади (Восточный Узун) в западном и северо-западном направлениях расширяет площадь продуктивности на исследуемом объекте.

#### ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

Применение поляриационного метода ВСП на Южно-Ключевой площади (Восточный Узун) обеспечило детальное исследование волновых полей, выде-

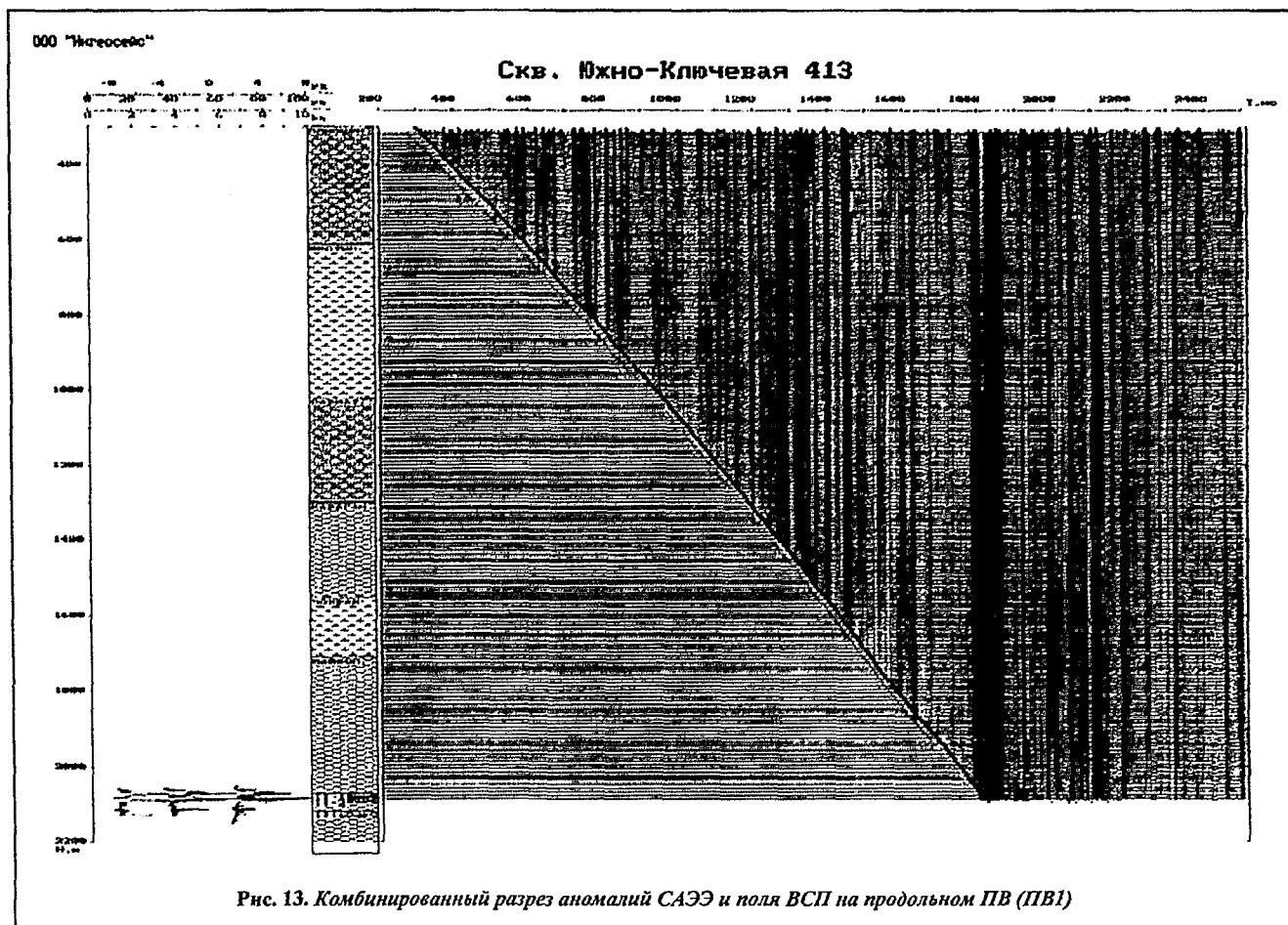


Рис. 13. Комбинированный разрез аномалий САЭЭ и поля ВСП на продольном ПВ (PВ1)

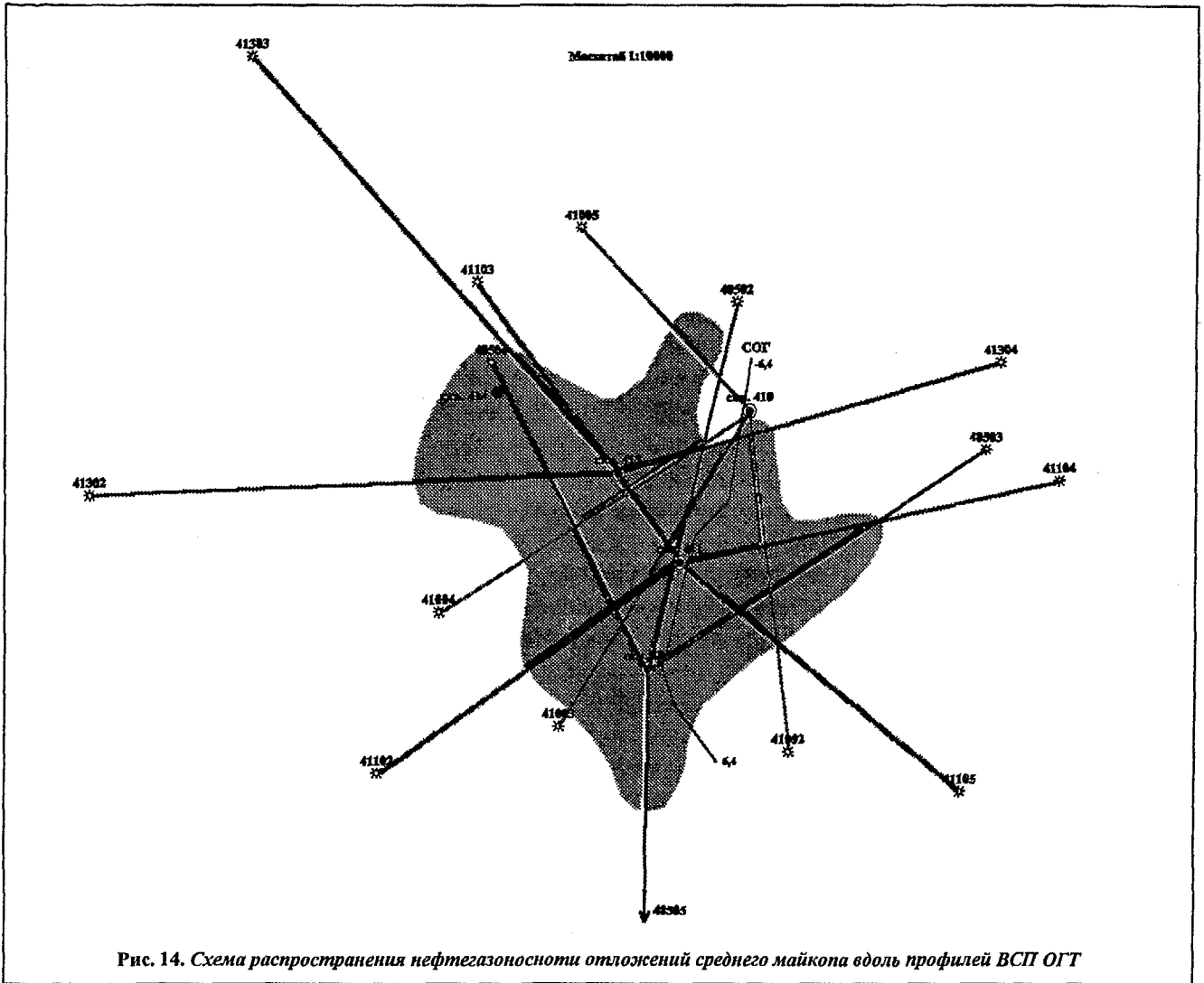


Рис. 14. Схема распространения нефтегазоносности отложений среднего майкопа вдоль профилей ВСП ОГТ

ление и прослеживание волн различной природы и типов ( $P$ ,  $S$ ,  $PP$ ,  $PS$ ), связанных практически со всей перспективной толщей осадков исследуемого района. Были изучены средние, пластовые и интервальные скорости, поляризация сейсмических волн, поглощающие и упругодеформационные параметры среды, акустическая жесткость (скорости) ниже забоя скважины. По временным и глубинным динамическим разрезам осуществлена стратификация выделенных волн.

Подтверждено, что границы отражения — обмена для  $PP$  и  $PS$  волн совпадают. В результате совместной интерпретации  $PP$  и  $PS$  волн построены графики изменения параметра  $\gamma$ , вдоль профилей ВСП ОГТ, а также схема его распределения в окрестности исследованных скважин, увязанная с ранее выполненными построениями.

На основе полученных данных в исследуемом разрезе выявлены неоднородности и оценен их вклад в суммарное волновое поле. При этом установлено, что различные неоднородности неодинаково влияют на волновое поле. В частности, характер нефтегазо-насыщения хорошо проявляется в продольных вол-

нах, по обменным волнам уверенно исследуется геометрия границ.

На основе решения обратной динамической задачи осуществлен прогноз акустической жесткости (скоростей) в нижнее полупространство.

Анализ параметрических данных позволяет отметить:

- увеличение скоростей в песчаниках и их уменьшение в глинах и аргиллитах;

- изменение углов смещения  $\phi$  в вертикальной плоскости на границах разного литологического состава;

- повышение затухания сейсмических волн в отложениях чокрака и среднего майкопа;

- изменение поведения кривой  $\gamma(x)$  на границах смены литологической обстановки;

- тесная связь параметра  $\gamma$ , с нефтенасыщением.

Комплексная обработка и интерпретация данных ПМ ВСП позволяет считать, что технология и методика комплексного анализа данных продольного ПМ ВСП обеспечивают прогноз нефтегазонасыщенности разреза с необходимой достоверностью как ниже забоя скважины, так и в околоскважинном пространстве, при

этом необходимо использование плотных систем не-продольного профилирования ПМ ВСП (наблюдений из большого числа ПВ — не менее 6...8).

В результате анализа всех данных увеличена площадь нефтегазоносности месторождения Южно-Ключевое (Восточный Узун) и рекомендовано бурение скважины с целью вскрытия нефтенасыщенных песчаных пачек среднего майкопа. Пробуренная скв. 414 дала приток нефти дебитом 26 м<sup>3</sup>/сут.

В целом можно отметить, что с использованием технологии промысловой сейсмики были рекомендованы и пробурены четыре скважины, оказавшиеся продуктивными.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Промысловая сейсмика — сейсмика околоскважинного пространства / А. Н. Амиров, Е.И. Гальперин и др. // Геоло-

гия, геофизика и разработка нефтяных месторождений. — 1987. — № 5.

2. Гальперин Е.И. Вертикальное сейсмическое профилирование. — М.: Недра, 1982.

3. Гальперин Е.И. Поляризационный метод сейсмических исследований. — М.: Недра, 1977.

4. Дорфман. Физические свойства горных пород и полезных ископаемых (петрофизики). — М.: Недра, 1984.

5. Пузырев Н.Н. Измерение сейсмических скоростей в скважинах // Тр. / ВНИИ Геофизика. — М., 1957. — Вып. 3.

6. Пат. 2169381 РФ, МКИ G 01 V 1/00. Способ сейсморазведки для прямого поиска и изучения нефтегазовых месторождений по данным регистрации, преобразования, обработки и анализа энтропии упругих волновых полей в частотной области / Д.М. Соболев. — Опубликовано 20.10.2001. Бюл. № 17.

7. Табаков А.А. Прогнозирование геологического разреза ниже забоя скважины // Геология и разведка недр. — М., 1986. — № 5.

УДК 551.24 (262.5): 551.77

## ГЛУБИННО-СКОРОСТНАЯ МОДЕЛЬ ВАЛА ШАТСКОГО ПО ДАННЫМ МОГТ—МПВ

Б. Н. Гринько, С. А. Ковачев, А. В. Хортов  
(Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН)

Сейсморазведочные работы методом отраженных волн (МОГТ), выполненные в последние годы в пределах вала Шатского (Черное море — северо-восточная часть), позволили детализировать его строение, определить первоочередные объекты для поисков углеводородов. Отработанный Институтом океанологии РАН в 2002 г. региональный профиль методом преломленных волн (МПВ) вдоль вала Шатского привнес новую информацию о его глубинной структуре. Анализ и сопоставление данных отраженных и преломленных волн позволили построить сейсмогеологическую модель вала Шатского, дать обоснованный прогноз вещественного состава и перспектив нефтегазоносности до начала дорогостоящего глубоководного бурения.

Seismic surveys by reflected waves carried out in last years within the limits of the Shatsky Swell (Black Sea — northeast part) have allowed to detail its structure to define prime objects for hydrocarbons searches. The regional profile with refractive waves along the Shatsky Swell, which was carried out by the Institute of Oceanology of RAS in 2002 has introduced the new information on its deep structure. The analysis and comparison of the reflected and refracted wave data has allowed to construct lithological model of the Shatsky Swell to give the reasonable prediction of rock structure and prospects in hydrocarbon depositing prior to the beginning expensive deep-water drilling.

**Введение.** Анализ сейсмических данных, полученных на структурах вала Шатского методом отраженных волн общей глубинной точки (МОГТ), показал, что отдельные из них (например, Южно-Дообская и Северо-Черноморская) по аналогии с близкими по ряду сейсмических характеристик месторождениями могут являться ловушками УВ с высокочемким карбонатным коллектором [4]. Отсутствие до недавнего времени информации о граничных скоростях сейсмических волн различной природы (продольных и поперечных) не позволяло однозначно интерпретировать данные стандартной сейсморазведки МОГТ. Измерения скоростей в слоях осадочной толщи мало надежны из-за малой длины получаемых методом ОГТ годографов, что затрудняет их литологическую интерпретацию, тогда как одним из принципиальных вопросов поисков УВ в пределах вала Шатского является наличие или отсутствие карбонатных (рифогенных) отложений [5].

Другим имеющим практическое нефтегазопищевое значение вопросом являлось определение общей толщины осадочного чехла в пределах вала Шатского, так как в волновом поле отраженных волн поверхность фундамента не находила какого-либо выражения.

Поэтому летом 2002 г. Институтом океанологии РАН были выполнены профильные сейсмические исследования методом преломленных волн (МПВ) с использованием донных сейсмических станций для уточнения литологического состава пород, составляющих структуру вала Шатского.

**Методика работ МПВ и их результаты.** Работы МПВ были выполнены в глубоководной части российского сектора Черного моря, где в пределах вала Шатского выделяются такие крупные объекты, как Южно-Дообская и частично уходящая в украинский сектор Черного моря Северо-Черноморская структу-