

составляет 83...1000 м и более. На этих глубинах осадочная толща и кристаллический фундамент северного борта ДДв также являются активно водообменной зоной. В Америке же давно выявлены и разрабатываются при активно водонапорном режиме такие гиганты моноклинального строения, как Милк-Ривер (255 млрд м³ газа, глубина 300...600 м) и Дип-Бейсн (12,5 трлн м³; 610...6000 м) в Канаде; Хьюгтон-Панхендл (223 млн т нефти и 2 трлн м³ газа; 958...1525 м) и Ист-Техас (822 млн т нефти; 900...1098 м) в США; Боливар-Прибрежное (9,6 млрд т; 300 нефтеносных пластов; 0...1050 м) и нефтяной пояс Ориноко (600 млрд т; ширина 35...92 км, длина 700 км, глубина 0...1200 м) в Венесуэле и др. [10].

Следовательно, северный борт ДДв заслуживает большого внимания. На это указывают достигнутые здесь успехи геолого-разведочных работ на нефть и природный газ. Думается, что новая комплексная программа нефтегазопроисковых работ на северном борту ДДв была бы не менее успешной, чем прежняя [1].

ЛИТЕРАТУРА

1. Принципиально новый объект поисков нефти и газа Украины / И.И. Чебаненко, В.А. Краюшкин, В.П. Ключко, В.В. Крот, Е.С. Дворянин, П.Т. Павленко, М.И. Пономаренко, Г.Д. Забелло // *Геол. журн.* — 1994. — № 1. — С. 3—18.
2. Небиогенные природные нефти Украины, Китая, Кубы и Северной Кореи / Е.Ф. Шнюков, Дж.Ф. Кенни, В.А. Краюшкин, Э.Е. Гусева, Р.М. Морозова // *Докл. НАН Украины.* — 2001. — № 4. — С. 123—126.

3. Краюшкин В.А. Промышленные нефтяные и газовые залежи в кристаллическом фундаменте континентального шельфа // *Геол. журн.* — 1999. — № 1. — С. 9—14.
4. Reservoirs in fractured basement on the continental shelf of Southern Vietnam / E.G. Areshev, Tran Le Dong, Ngo Thuong San, and O.A. Shnip // *J. of Petroleum Geology.* — 1992. — Vol. 15 (4), №10. — P. 451—464.
5. Rauen A., Duyster J., Kontny A. Influence of cracks and ore mineralization on the electrical conductivity: an example from KTB // *Proceedings of the VIIth International Symposium on the Observation of the Continental Crust Through Drilling (April 25—30, 1994, Santa Fe, New Mexico, USA).* — Santa Fe (NM): DOSECC, 1994. — P. 134—137.
6. Основные этапы и результаты исследований кристаллического фундамента Татарстана // *Перспективы нефтегазоносности кристаллического фундамента на территории Татарстана и Волго-Камского региона* / Р.Х. Муслимов, А.К. Назипов, И.Н. Плотникова, В.А. Трофимов, И.А. Чиркин, Н.А. Плотников. — Казань: Новое Знание, 1998. — С. 7—9.
7. Краюшкин В.А. Предпосылки, история и результаты сверхглубокого газопроискового бурения на Сильянской астроблеме в Швеции // *Геол. журн.* — 1991. — № 5. — С. 110—121.
8. Краюшкин В.А. Истинное происхождение, структура, размер и размещение мирового нефтегазового потенциала // *Георесурсы.* — 2000. — № 3 (4). — С. 14—18.
9. Anderson R.N. Recovering dynamic Gulf of Mexico reserves and the U.S. chery future // *Oil and Gas J.* — 1993. — Vol. 91, No. 17. — P. 85—92.
10. К геологии докембрийского нефтегазоносного комплекса в Днепровско-Донецком авлакогене // *Геология в XXI столетии: Пути развития и перспективы* / И.И. Чебаненко, В.А. Краюшкин, В.П. Ключко, Н.И. Евдошук, Т.Е. Довжок, В.В. Глазун, О.В. Гнатюк. — Киев: Знання, 2001. — С. 323—333.

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

УДК 550.834.3.05

ОПЫТ И РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПМ ВСП С ВИБРОСЕЙСМИЧЕСКИМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ НА ПРИМЕРЕ ВОСТОЧНО-ДОНЕЦКОГО ПОДНЯТИЯ (ВОЛНОВОЕ ПОЛЕ, ПАРАМЕТРЫ И СТРОЕНИЕ СРЕДЫ)

Ю.Д. Мирзоян, В.Я. Ойфа, М.Л. Хацкель, О.Д. Драгунов
(ООО «Ингеосейс», ГУГП «Южгеология»)

Рассмотрены возможности поляризационного метода ВСП с виброрсейсмическим возбуждением продольных волн. Показано, что регистрируемое волновое поле образовано совокупностью волн различной природы и типов — продольных, поперечных, обменных и др. Выделенные волны прослежены на вертикальном профиле на основе принципов полярной и поляризационно-позиционной корреляции и использованы для совместной интерпретации. Изучены параметры среды и волнового поля, выполнены структурные построения, выделены локальные объекты в окрестности исследованной скважины, представляющие разведочный интерес, и даны рекомендации.

Possibilities of polarization method VSP with longitudinal wave vibroseismic excitation are discussed. It is shown that registered wave field is formed by set of waves of different nature and types — longitudinal, transversal, exchange and so on. Detected waves are tracked on the vertical profile on the base of polar and polarization-positional correlation and are used for combined interpretation. Environment and wave field parameters are studied, structural constructions are made, local object of reconnaissance value in the vicinity of the studied well are detected and recommendations are given.

Исследования ВСП с виброрсейсмическим возбуждением выполнялись в разных средах и в различных районах Сибири, Поволжья и Предкавказья. Эффективность полученных результатов не всегда оценивалась однозначно. Это объясняется, прежде всего, тем, что не в полной мере использовались возможности наблюдений во внутренних точках среды. Как правило, регистрация упругих колебаний осуществлялась вертикальной Z-составляющей, что не позволяло детально изучить волновое поле, достоверно определить природу и типы регистрируемых волн, исследовать их кинематические и динамиче-

ские характеристики. Применение ПМ ВСП в условиях сложнопостроенного крупного Восточно-Донецкого поднятия обеспечило выделение и прослеживание всех типов сейсмических волн и их совместную интерпретацию для получения наиболее полных сведений о среде.

Район работ приурочен к Донецкому складчатому сооружению, представляющему собой в современном структурном плане северную часть Предкавказской эпипалеозойской плиты, входящей в молодую Скифскую платформу. В геологическом строении территории принимает участие широкий комплекс разновозрастных литологически разнородных пород — от докембрия до кайнозоя включительно.

Основные перспективы нефтегазоносности исследуемой площади связаны с терригенными и карбонатными породами мезозоя и кайнозоя, а также с отложениями каменноугольного возраста, в которых были выявлены залежи нефти и газа в сопредельных районах.

Исследования ПМ ВСП выполнены в параметрической скв. 1 — Зимовники в интервале глубин 0...1600 м из четырех ПВ — одного продольного и трех неперодольных (удаления 1150...1200 м), различающихся азимутами примерно на 120° относительно друг друга. В связи с тем, что скв. 1 — Зимовники не была обсажена в нижней части глубже 675 м, работы проводили одноточечным зондом с управляемым прижимом и симметричной трехкомпонентной установкой конструкции Е.И. Гальперина*. Расстояние между точками приема — 10 м, на участках, где отмечались каверны, наблюдения выполняли с неравномерным шагом. Запись колебаний осуществляли сейсмостанцией «Прогресс-2» на фильтрации 10...125 Гц. Возбуждение упругих волн производили двумя одновременно работающими вибраторами. Свертку сигналов и получение импульсных сейсмограмм выполняли в поле и на ВЦ.

Основные характеристики работы вибраторов приведены в табл. 1.

Контроль за стабильностью условий возбуждения выполнялся тетрафоном, помещенным между ПВ-1 и устьем исследуемой скважины, а контроль идентичности сейсмоприемников зонда — путем сопоставления записей Z-составляющей, получаемых полевым вертикальным сейсмоприемником и

в результате суммирования сигналов наклонных компонент симметричной установки. Качество полученных полевых материалов хорошее. На абсолютном большинстве сейсмограмм отмечается практическое совпадение записей расчетного и прямого Z-сейсмоприемников.

Обработку материалов проводили по комплексу YSP-PC на компьютерах PENTIUM в несколько этапов.

Первый этап включал необходимые технологические процедуры (демультимплексацию, корреляцию, формирование профиля, введение статических поправок, выравнивание интенсивности записей по глубине и по времени регистрации). Названные процедуры не являются специфическими для обработки данных ПМ ВСП, поэтому ограничимся лишь упоминанием об их применении.

Поскольку наблюдения в скважине проведены с помощью неориентируемого зонда, ориентировка записей выполнена по направлению смещений в P-волне. Параметры поляризации определены по энергиям сигналов трехкомпонентной записи в пределах первого видимого периода. Для анализа волнового поля получены сейсмограммы локальной системы координат P, R, T и сейсмограммы 23 фиксированных компонент, равномерно распределенных в пространстве, ориентировка которых показана на сетке Вульфа.

На втором этапе после детального рассмотрения материалов первого этапа записи фиксированных составляющих, выбранных для изучения параметров волн различного типа, подвергали процедурам деконволюции, полосовой фильтрации, окончательной коррекции статических поправок, вычитания и суммирования, а также согласующему изменению полярности на комбинированных компонентах. Применение этих процедур улучшило прослеживаемость и обеспечило более точную стратификацию сейсмических волн.

На третьем этапе применяли миграционное преобразование сигналов для получения временных и глубинных разрезов PP- и PS-волн, по которым построены структурные схемы.

При интерпретации материалов выполнен анализ волнового поля по сейсмограммам локальной и пространственной систем координат, определены при-

рода и типы зарегистрированных волн, осуществлена их стратиграфическая привязка, изучены скорости V_p и V_s , упругодеформационные модули среды ($\gamma = V_s/V_p$, σ — коэффициент Пуассона, E — модуль Юнга и др.), коэффициенты поглощения и параметры поляризации в сейсмических волнах. На основе мигрированных разрезов PP- и PS-волн определены значения γ для отдельных литолого-стратиграфических комплексов и установлены их связи с реальным геологическим разрезом.

| Пункт взрыва | Время свип-сигнала, с | Продолжительность записи, с | Полоса возбуждения частот, Гц | Количество воздействий на одной точке приема | Зонд |
|--------------|-----------------------|-----------------------------|-------------------------------|--|---------------|
| ПВ-1 | 12 | 16 | 0...96 | 4 | Без усилителя |
| ПВ-2 | 12 | 16 | 0...76 | 6 | " |
| ПВ-3 | 12 | 16 | 0...76 | 4 | С усилителем |
| ПВ-4 | 12 | 16 | 0...76 | 4 | " |

* Гальперин Е. И. Поляризационный метод сейсмических скоростей в скважинах. — М.: Недра, 1977. — 277 с.

**СОСТАВ И ОСОБЕННОСТИ ВОЛНОВЫХ ПОЛЕЙ,
ПОЛЯРИЗАЦИЯ В СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛНАХ**

Зарегистрированное волновое поле представлено совокупностью прямых (P и S), отраженных (PP , PS), обменных проходящих (PSV), частично кратных продольных и обменных (PPS и PSS) волн.

Ниже приведена их краткая характеристика.

Прямая P -волна, дающая начало всему волновому процессу, прослежена непрерывно вдоль продольного вертикального профиля от забоя скважины до дневной поверхности на P - и Z -компонентах и представлена двухфазным колебанием сравнительно высокой интенсивности (рис. 1, а, б).

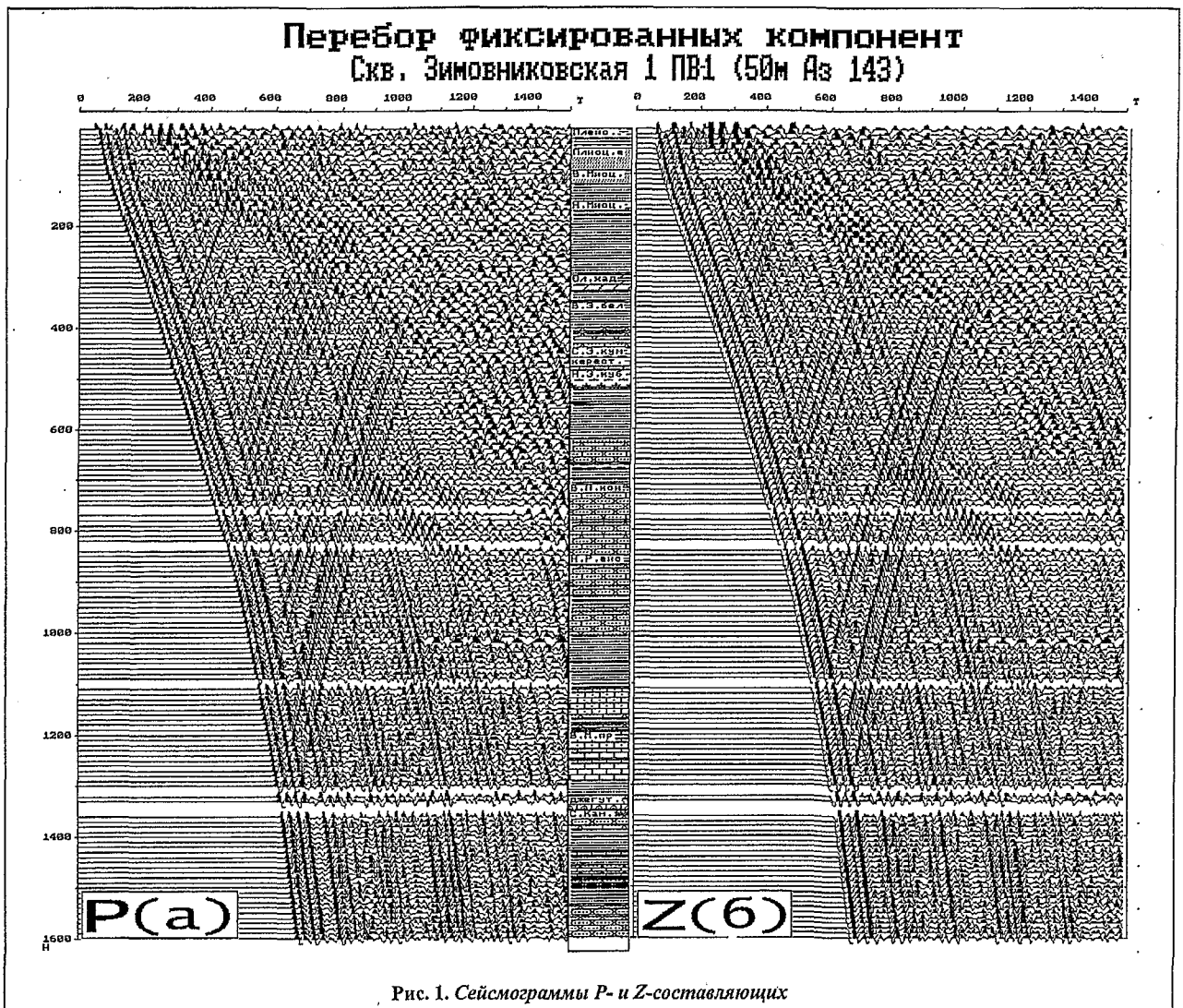
Спектр зарегистрированных колебаний лежит в пределах 10...100 Гц, форма годографа довольно простая. Максимум функции автокорреляции, по которому были определены времена для построения вертикального годографа t_p , выделяется достаточно уверенно, что позволяет с необходимой точностью определить скорости V_p продольных волн.

На непродольных профилях первые вступления могут образовывать волны разной природы. Это хорошо иллюстрируют сейсмограммы R -составляющих, на которых P -волны "занулены" (рис. 2). Графики

$\phi(H)$, построенные для P -волны на непродольных профилях (рис. 3), наглядно свидетельствуют о смене волн в первых вступлениях и являются источником дополнительных и независимых сведений о скоростном разрезе (Е.И. Гальперин, 1977).

Продольные отраженные $PP\uparrow$ -волны связаны практически со всей исследуемой толщей. Наиболее уверенно они выделяются в интервале глубин 400...1350 м. Здесь они прослеживаются непрерывно, без видимых потерь в корреляции. Границы образования отраженных PP -волн в основном совпадают с литолого-стратиграфическими границами. Кажущиеся скорости продольных отражений составляют 3000...3500 м/с, видимые частоты лежат в пределах 10...100 Гц. Области оптимальной регистрации отраженных PP -волн располагаются между компонентами 22, 23, 21 с небольшими азимутальными отклонениями для разных ПВ (рис. 4).

Волновое поле продольных отраженных волн значительно осложняется интерференцией с поперечными и обменными волнами. Тем не менее $PP\uparrow$ -волны удается выделить, проследить и привязать их к геологическому разрезу.



Скв. Зимовниковская 1 R компонента

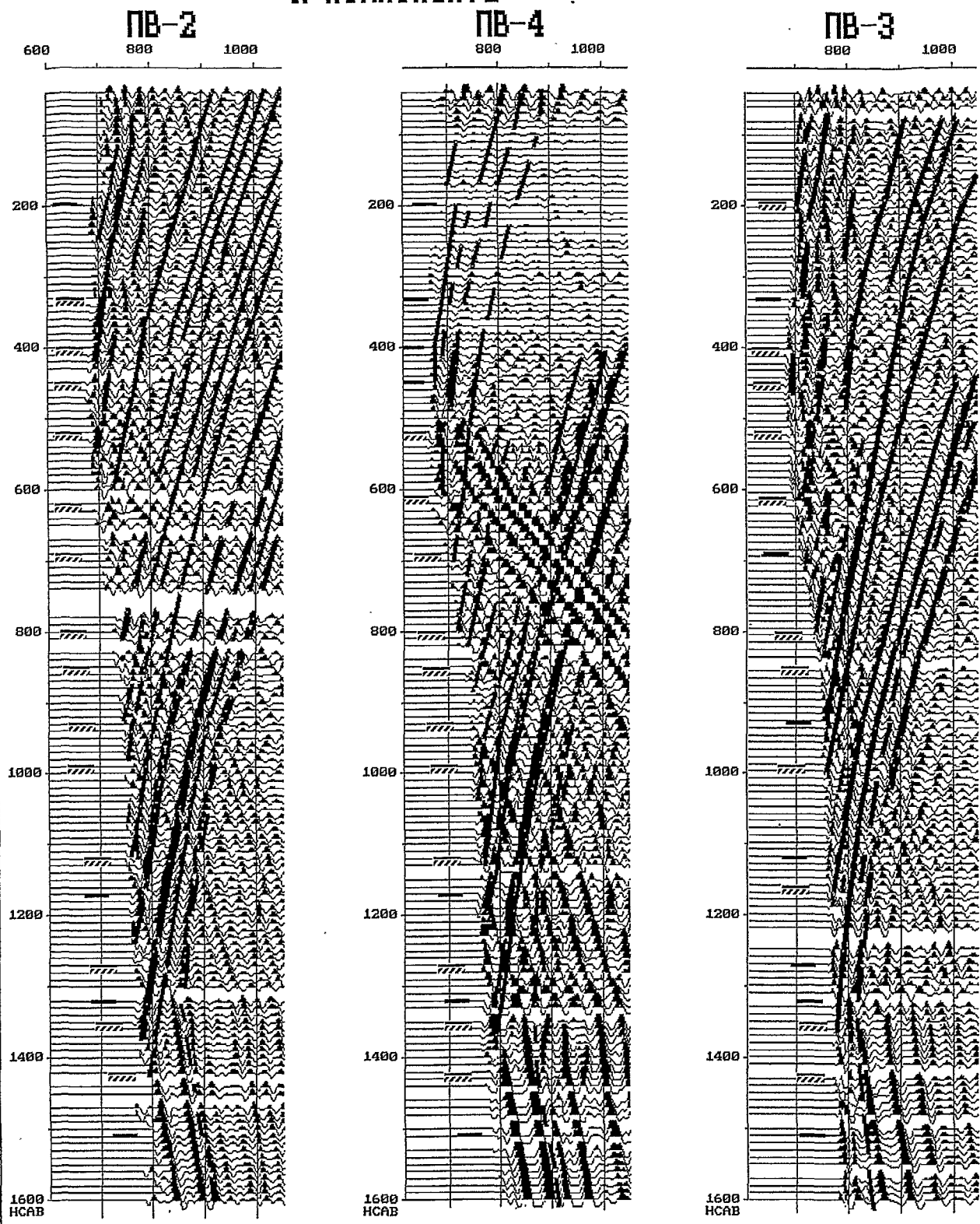


Рис. 2. Сейсмограммы R-составляющих

Наиболее резкой отражающей границей является кровля среднего карбона, представленного органическими известняками, плотными аргиллитами и сланцами.

От границ, залегающих глубже кровли среднего карбона, отражается еще ряд продольных волн относительно невысокой интенсивности. Однако значительная часть их, вероятнее всего, относится к многократным продольным отражениям.

Рефрагированные продольные волны

Удаление непродольных ПВ на 1100...1300 м и наличие глубже 1300 м высокоскоростной толщи определяют возможность регистрации в начале записи (глубже 1000 м) рефрагированных волн, обладающих большой интенсивностью. Так как эти участки вертикальных профилей ($l \sim 1200$ м, $H = 1300$ м) расположены вблизи точки выхода головной (преломленной, рефрагированной) волны, волна PP_{1360} м может оказаться за пределами отраженной и наблюдаться в области интерференции с рефрагированной волной. Такой вариант интерпретации представлен на рис. 2. На этих сейсмограммах можно видеть взаимное расположение годографов волн P , PP и $P_{\text{реф}}$ глубже 1000 м.

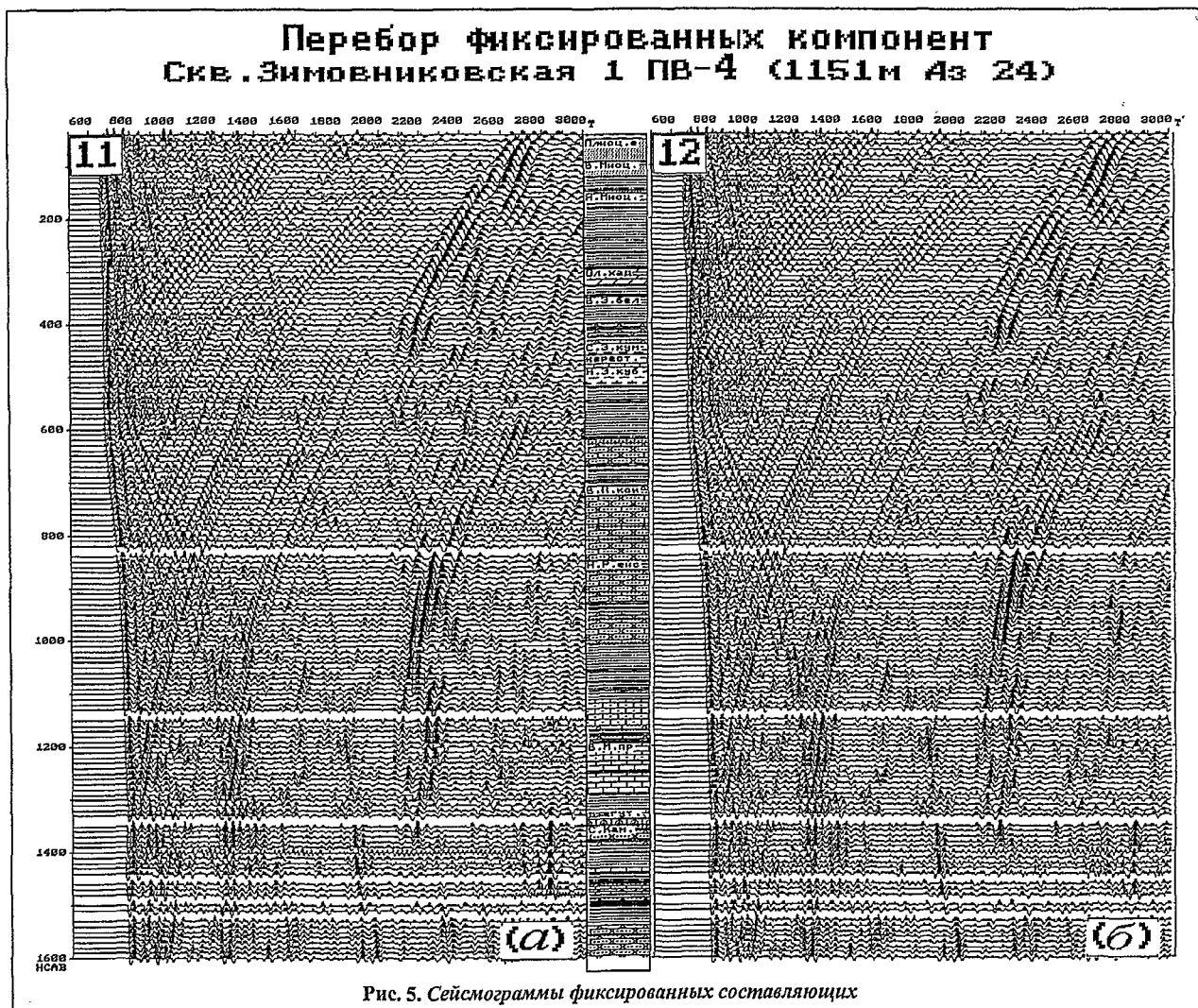
Для рефрагированной волны наблюдается обращение фазы на глубине 1300 м, где находится минимум годографа, что соответствует значению коэффициента рефракции $\beta_P = 0,002$ 1/м в случае линейного закона увеличения скорости с глубиной — $V(H) = V_0(1 + \beta_P H)$. Это значение β_P не противоречит полученной закономерности изменения V_P с глубиной.

Рефрагированная и за пределами отраженная волны соизмеримы по интенсивности и доминируют в последующей части записи на Z - и R -составляющих в лучевой плоскости волны P .

Обменные отраженные ($PS\uparrow$) и проходящие ($PS\downarrow$) волны

Волновое поле обменных отражений характеризуется теми же основными особенностями, что и продольных (рис. 5). Здесь также преобладают отражения от кровли известняков среднего палеогена (керестинская свита, $H = 460$ м), песчаных известняков палеоцена. В нижней части доминируют обменные отраженные волны, связанные с кровлей органических известняков среднего карбона.

Очевидно, что сходство волновой картины отраженных PP - и PS -волн обусловлено близостью скоростной дифференциации среды по волнам разных типов.



Некоторые отличия волн PS от PP -волн заключаются в том, что кинематика обменных отражений для разных ПВ практически не меняется. Вместе с тем анализ поляризационных характеристик $PS\uparrow$ -волн свидетельствует о наличии незначительных азимутальных отклонений в направлениях их смещений относительно вертикальной лучевой плоскости P -волны. Причем для всех пунктов взрыва величина и порядок азимутальных отклонений отраженных PS -волн совпадают с соответствующими азимутальными отклонениями PP - и $PS\downarrow$ -волн (см. рис. 4).

Проходящие обменные $PS\downarrow$ -волны связаны практически со всем исследуемым разрезом. Среди этих колебаний доминирует на записи $PS\downarrow$ -волна от кровли высокоскоростных известняков керестинской свиты среднего палеогена (P_2^k), которая является сравнительно резкой границей отражения — обмена. Существенное влияние на интенсивность обменных проходящих волн оказывают удаление и взаимное расположение ПВ и скважины.

Из ближнего продольного ПВ, как и следовало ожидать, $PS\downarrow$ -волны характеризуются сравнительно невысокой интенсивностью. Из непродольных ПВ, практически равноудаленных от скважины приблизительно на 1200 м, интенсивность обменных проходящих волн (с небольшими вариациями) примерно одинакова, среди них наиболее динамически выражена обменная проходящая волна от подошвы олигоценовой толщи ($H=350$ м). Область оптимальной регистрации $PS\downarrow$ -волн из ПВ-2 располагается между компонентами 10, 9, 3, 4, а из ПВ-4 — на наклонных составляющих 15, 16, 17, 18, 22 (см. рис. 4). Из ПВ-3 области наилучшего прослеживания $PS\downarrow$ -волн ограничены компонентами 4, 5, 6. Наблюдаемые различия областей оптимального прослеживания PS -волн на стереограммах обусловлены, по всей видимости, не только возможным наклоном границ обмена, но и (вероятно) анизотропными свойствами среды, на что указывает образование двух типов поперечных колебаний — SV и SH .

Обменные волны $PS\uparrow$ и $PS\downarrow$, доминирующие на сейсмограммах непродольных ПВ, регистрируются вдоль всего вертикального профиля, но наиболее интенсивные приурочены к интервалам глубин 400...600 и 1200...1400 м. Обменные проходящие волны, распространяясь в глубь среды, отражаются вверх от резких скоростных границ, заполняя собой все волновое поле.

Выделяются отдельные участки вертикального профиля, где происходят многократные отражения поперечных колебаний, источником которых служат обменные $PS\uparrow\downarrow$ - и прямые S -волны. Таким волноводом является слой пониженной скорости S -волн ($H=610...850$ м).

Иллюстрацией могут служить записи фиксированных составляющих 4, 5, 6 из ПВ-3, причем если в слое на глубине 610...850 м S -волны отражаются от верхней и нижней границ волновода, то от границы на глубине 470 м поперечные колебания отражаются только вниз.

В табл. 2 приведены некоторые глубины границ образования обменных волн из разных ПВ, где их удалось зафиксировать наиболее уверенно.

Таблица 2

| Глубины границ образования обменных $PS\uparrow\downarrow$ -волн, м | | |
|---|--------------|-------------------|
| ПВ-2 | ПВ-3 | ПВ-4 |
| ↑350 | | |
| ↓400...520 | ↑↓430...500 | ↑↓340...450...610 |
| ↓440 | | ↓500, 530 |
| ↑↓530 | | ↓590 |
| ↓630 | | |
| ↑↓810 | | ↑810 |
| ↓880...940 | ↑940 | ↑940 |
| ↑1160 | | |
| ↑↓1240...1300 | ↑1220...1320 | ↑↓1210 |
| ↑↓1300 | | ↑↓1300...1320 |
| ↑↓1420 | | ↑1430 |

По излому непродольных годографов $PS\uparrow\downarrow$ -волн уточнялась скоростная модель среды по S -волнам (рис. 6).

Анализ сейсмограмм 23 фиксированных составляющих позволил построить стереограммы расположения в пространстве областей следящих составляющих различных волн. При их сопоставлении для разных ПВ совмещались лучевые плоскости первой продольной волны.

Поперечные обменные отраженные волны $PS\uparrow$ поляризованы вблизи фронта первой продольной волны P почти в горизонтальном направлении (отклонения от горизонта не превышают 20°), из ПВ-4 вблизи лучевой плоскости Q_p , из ПВ-2 и ПВ-3 азимутальные отклонения от лучевой плоскости составляют около 50° . Обменные проходящие волны $PS\downarrow$ из ПВ-2 и ПВ-3 поляризованы вблизи плоскости нулевых смещений волны $P — Q_{op}$, отклоняясь о нее примерно на 60° , а из ПВ-4 волны $PS\downarrow$, как и волны $PS\uparrow$, поляризованы в лучевой плоскости Q_p . Направление смещения в волнах $PS\downarrow$ составляют с горизонтом $25...30^\circ$.

Оптимальные компоненты для выделения волн $PS\uparrow — 1, 12$ (ПВ-2, ПВ-4) и $6, 16$ (ПВ-3); для волн $PS\downarrow — 15$ (ПВ-2), $10, 11$ (ПВ-3), $1, 7$ (ПВ-4).

Поляризация отдельных групп $PS\uparrow\downarrow$ -волн от мелких и глубоких границ и из разных ПВ может несколько различаться в основном своими азимутальными отклонениями, что обусловлено разной ориентацией границ обмена в пространстве.

Прямая поперечная S -волна

На продольном вертикальном профиле наблюдается интенсивная прямая S -волна с довольно устойчивой формой записи благодаря стабильному источнику возбуждения. Протяженность цуга S -колебаний с глубиной возрастает (от 100 мс на глубине 100 м примерно до 200 мс на глубине 1600 м), последующие низкочастотные фазы распространяются с меньшей

Скв. Зимовниковская 1

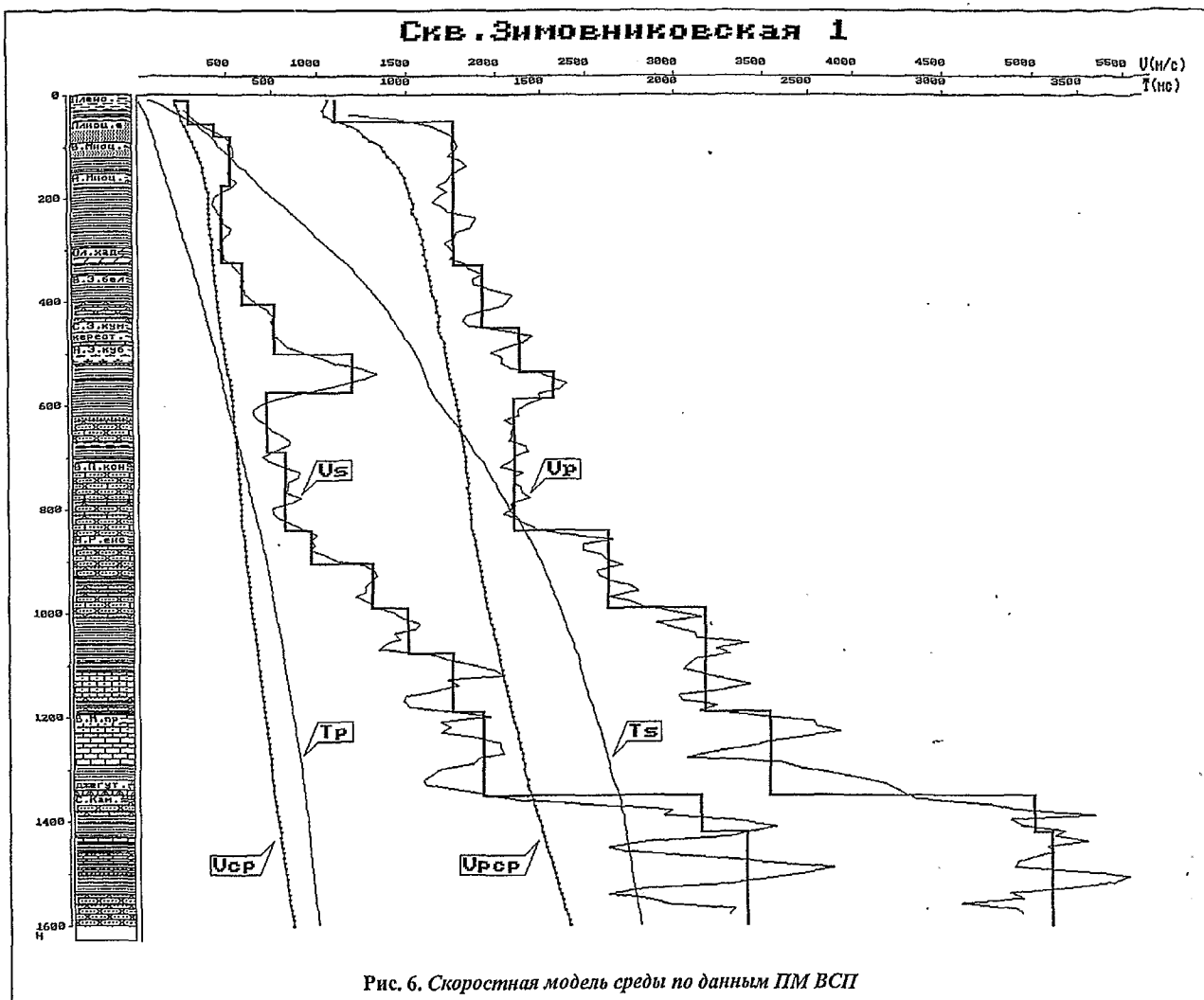


Рис. 6. Скоростная модель среды по данным ПМ ВСП

скоростью. Первые фазы более высокочастотны и менее интенсивны, так что с глубины около 1100 м самые первые фазы $S_1(SV)$ проследить не удастся. Однако опорная фаза $S_2(SH)$ прослеживается вдоль всего профиля, что обусловило высокую точность построения вертикального годографа S -волны.

Была предпринята попытка связать наблюдаемые изменения формы записи S -волны (частоту, длительность, интенсивность интерференции последующих фаз, затухание первых фаз и т. п.) с литологией (составляющая R , ПВ-1 — согласование удовлетворительное).

На всех непродольных профилях прямая S -волна регистрируется в верхней части профиля как рефрагированная с четким минимумом годографа на глубине около 500 м. Это соответствует значению $\beta_s \approx 0,001$ 1/м в случае линейного закона увеличения скорости с глубиной — $V(H) = V(1 + \beta H)$. Группа S -колебаний, протяженная, интенсивная, низкочастотная, включает кратные и отраженные S -волны, они быстро затухают и практически не наблюдаются глубже 1000 м.

В нижней части профиля, в интервале глубин 800...1600 м, в высокоскоростном слое ($H=1360$ м) регистрируется интенсивная преломленная волна $S_{пр}$, которая выше 800 м попадает в последующие вступ-

ления цуга S -колебаний, где прослеживание затруднено. Эта группа S -колебаний также протяженна и многофазна, содержит отраженные поперечные волны. Вертикальный годограф имеет минимум на глубине около 1400 м, что свидетельствует о наличии градиента скорости S -волн в высокоскоростном слое.

Области оптимальных (следящих) составляющих групп колебаний S и $S_{пр}$, определенные по сейсмограммам фиксированных составляющих, близки, они объединены на стереограмме (см. рис. 4), где для разных ПВ совмещены направления P и отмечено положение плоскости поляризации Q_p и плоскости нулевых смещений Q_{op} первой продольной волны. Область расположена между плоскостями Q_p и Q_{op} , волны поляризованы близко к горизонтальному направлению, отклоняясь от лучевой плоскости вправо на $60...90^\circ$.

Поперечные отраженные SS -волны

На продольном вертикальном профиле SS -волны регистрируются преимущественно на горизонтальных компонентах ($R, Y, 1, 2, 6$), редко — на наклонных (компонента 12). Границы образования волн SS и PP в основном совпадают ($H=460, 610, 770, 850, 1270, 1320, 1410$ м), но есть и различия (только вол-

на SS — $H=250, 500, 800$ м; только волна PP — $H=410, 1120, 1400$ м). До дневной поверхности на вертикальном профиле волны SS не прослеживаются.

На **непродольных** профилях можно наблюдать отраженные вверх и вниз SS -волны в зависимости от того, сверху или снизу падает на границу рефрагированная поперечная волна S или $S_{пр}$, но так как они регистрируются в последующей части интенсивного цуга, их выделение, отождествление с определенными границами, изучение поляризации затруднены. Подобные SS -волны хорошо видны на составляющих X и Y из ПВ-4; 10—14 из ПВ-3.

Поляризация сейсмических волн

Количественной характеристикой поляризации колебаний служат параметры, определяющие траекторию движения частиц. Такими параметрами являются угол с вертикалью (φ) и азимут (ω) направления движения частиц среды. Представляет интерес рассмотреть поляризацию P - и S -волн.

Поляризация P -волны

Для анализа привлекали углы с вертикалью большой оси эллипса во временной и частотной областях, траектории движения частиц в горизонтальных и вертикальных плоскостях, полярные сейсмограммы в отдельных интервалах разреза.

На полученных графиках $\varphi(H)$ отмечены существенные изменения углов φ вдоль вертикального профиля и выявлена их тесная связь с исследуемым разрезом (см. рис. 3).

На **продольном** профиле в верхней части разреза (до 200 м) угол φ уменьшается от 50...70 до 10°. Глубже, вдоль вертикального профиля, он в среднем колеблется около этого значения, отдельные выбросы до 30° приурочены к границам скачка скоростей. Наблюдаются азимутальные отклонения вправо от направления на ПВ.

Изменение направлений смещения первых волн по вертикальному профилю может быть вызвано как неоднородностями среды, так и положением или смещением волн.

Для **продольного вертикального** профиля, когда первая волна подходит сверху, наблюдаемые изменения угла φ обусловлены полностью скоростными особенностями разреза.

Для **непродольных** профилей картина усложняется. Направление смещения первой волны зависит не только от взаимного расположения источника и приемника, но и для градиентных сред — от коэффициента увеличения скорости с глубиной. Для слоистых сред на границах раздела, где наблюдаются скачки скоростей, кривые $\varphi(H)$ претерпевают разрывы. Причем при переходе от меньшей скорости к большей направления смещения будут отклоняться от вертикали, а при переходе от большей к меньшей, наоборот, приближаться к вертикали.

На участках, примыкающих к границам раздела, где происходит наложение падающих P - и вторичных отраженных PP - и PS -волн, направления смещения могут отклоняться от указанных закономерностей.

Начальную часть сейсмограмм на непродольных профилях ВСП образуют прямая, головная и запреломленные волны от тонких слоев в разрезе, а также рефрагированные волны в толще, подстилающей тонкие слои. При смене волн в первых вступлениях, наблюдаемых на непродольных профилях, происходит изменение кривой $\varphi(H)$. На участках вертикального годографа с отрицательной кажущейся скоростью регистрируется преломленная (головная) волна. Смена прямой и преломленной волн подтверждается разрывом (скачком) кривой $\varphi(H)$ (угол $\varphi \geq 90^\circ$). Непосредственно под границей раздела направления смещения проходящей волны не совпадают с направлением скользкого луча и близки к направлениям смещения проходящей волны, поляризованной уже линейно. При переходе от головной волны к проходящей изменяются направления смещения, причем область, где $\varphi \geq 90^\circ$, под границей тем больше, чем больше различие скоростей на границе.

На рис. 3. представлен график $\varphi(H)$ в вертикальной плоскости для трех непродольных ПВ. Верхние 400...500 м характеризуются отрицательной кажущейся скоростью (P -волна подходит снизу), обусловленной вертикальным градиентом скорости продольных волн. Соответственно, значение φ здесь в целом больше 90°. Изрезанность кривых и скачки φ различны для разных ПВ и определяются скоростным разрезом. Участки профиля, приуроченные к наиболее резким скоростным границам ($H \approx 1000, 1120, 1350$ м и более), также отмечены значениями $\varphi \geq 90^\circ$ на большем или меньшем протяжении для разных ПВ. Эти участки иногда проявляются на вертикальных годографах (смена прямой и преломленной, головной волн в первых вступлениях).

На этих участках на вертикальных годографах выделяются отрезки с отрицательной кажущейся скоростью.

Графики $\varphi(H)$ характеризуются сильной изрезанностью, однако им присущи общие закономерности. Поскольку точность определения φ по полярным сейсмограммам не превышает 10°, графики можно представить ломаными полосами. В пределах полос сосредоточено преобладающее большинство наблюдаемых значений φ . Отдельные выбросы за пределы полос, как правило, коррелируются для разных ПВ и обусловлены особенностями скоростного разреза. На вертикальных годографах здесь наблюдаются отрезки с отрицательной кажущейся скоростью (прямая волна в первых вступлениях сменяется головной, преломленной).

Изрезанность графиков различна на разных интервалах глубин. Тонкими линиями нанесены границы, выделенные в результате изучения скоростного разреза (табл. 3). Горизонтальными отрезками отмечены изломы графиков $\varphi(H)$. 70 % всех изломов совпадают с границами скоростного разреза. На вертикальных годографах здесь наблюдаются отрезки с отрицательной кажущейся скоростью (прямая волна в первых вступлениях сменяется головной, преломленной).

| Глубина H , м | Границы изменения формы S -волны | Границы образования волн | | | Границы изменения скоростей | | | | |
|-----------------|------------------------------------|--------------------------|------|------|-----------------------------|-----|------|--------------|-----|
| | | PP | PS | SS | пластовых | | | интервальных | |
| | | | | | P | S | PS | P | S |
| 200 | + | | | | | + | + | | |
| 330 | | | + | | + | + | | + | + |
| 400 | + | + | + | | | + | | + | + |
| 450...460 | + | + | + | + | | | + | + | |
| 520...530 | | + | + | + | + | + | + | + | |
| 580 | | | + | | + | + | | + | + |
| 620 | + | + | + | + | | | | | |
| 690...700 | + | + | | | | + | + | | + |
| 800 | + | + | + | + | | + | + | | |
| 850 | | + | + | + | + | | + | + | + |
| 930 | | + | + | | | | + | | |
| 990...1000 | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| 1120...1130 | + | + | | | | | | | |
| 1170...1180 | | + | + | | + | + | + | + | + |
| 1270...1280 | + | + | | + | | | | | |
| 1320 | | + | + | + | | | | | |
| 1350...1360 | + | + | + | | + | + | + | + | + |
| 1420...1430 | + | + | + | + | | | | + | + |
| 1500 | + | + | + | | | | | | |

Закономерность, а не случайность изменения φ подтверждается тем фактом, что графики $\varphi(H)$ для разных ПВ коррелируются между собой. Глубины практически всех изломов совпадают или близки для трех (или двух) ПВ.

Немного остановимся на связи $\varphi(H)$ со стратиграфической колонкой и с графиками пластовых скоростей.

В интервале глубин 620...850 м уменьшение φ (до 60°) свидетельствует об уменьшении скорости. Глубже 1000 м наблюдаются большие значения φ (70...80°), говорящие об увеличении скорости. Уменьшение φ глубже 1200 м связано с приближением луча к вертикали по мере роста H .

Поляризация S -волны

При изучении поляризации поперечных волн особый интерес представляет разделение S -волны на две — S_1 и S_2 (не всегда SV и SF), распространяющиеся с различными скоростями и обладающие разными направлениями смещения, что характеризует анизотропные свойства среды. Прямая поперечная волна многофазна и поляризована часто нелинейно, что обусловлено наложением нескольких колебаний: на полярных сейсмограммах наблюдаются криволинейные и наклонные оси синфазности. При полярной корреляции волны S определяли направления смещения для самых первых фаз, обычно линейно поляризованных.

Для продольного профиля на многих глубинах импульсы S_1 и S_2 хорошо выделяются на различных компонентах полярных сейсмограмм. Для примера на полярной сейсмограмме (рис. 7, а) волна S_1 опти-

мально выделяется на 5-й компоненте, где минимальна амплитуда волны S_2 , а волна S_2 — на 2-й и 8-й компонентах, где мала интенсивность волны S_1 . Сдвиг $\Delta t_{S_2-S_1}$ составляет около 25 мс. На стереографической сетке (рис. 7, б) обе волны поляризованы в горизонтальной плоскости вблизи фронта продольной волны. Смещения в волнах P , S_1 и S_2 взаимноортogonalны, S_1 является волной SV , а S_2 — SF .

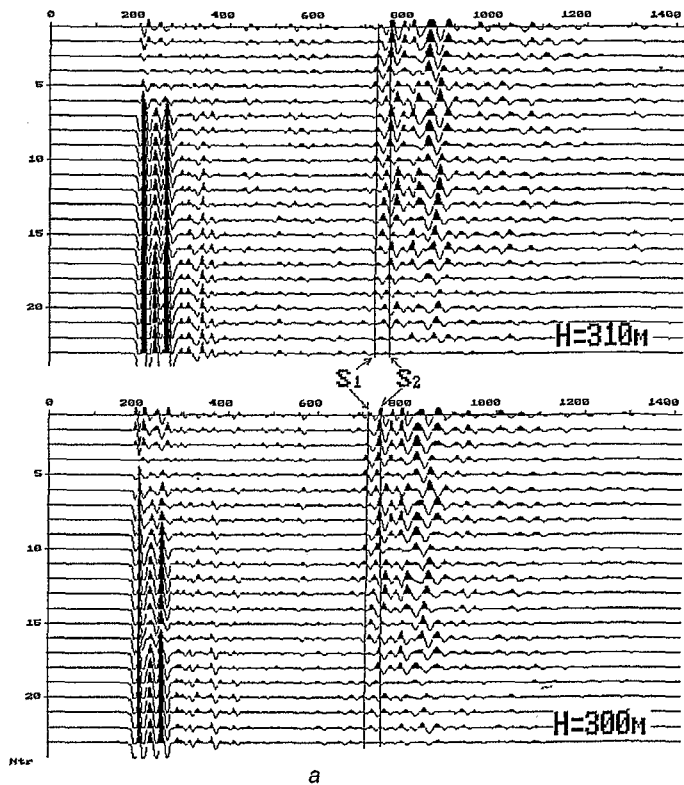
Трудность сопоставления поляризации волн P , S_1 и S_2 для разных глубин наблюдений обусловлена малой точностью определения положения вертикальной лучевой плоскости волны P на продольном вертикальном профиле. Можно лишь констатировать в целом, что волны S_1 и S_2 поляризованы вблизи горизонтальной плоскости и смещения в волнах P , S_1 и S_2 взаимно перпендикулярны.

Скорости волн S_1 и S_2 близки, разделить их на сейсмограммах не всегда возможно, но если это удастся, то определяемое значение $\Delta t_{S_2-S_1}$ мало изменяется с глубиной и составляет около 15 мс. Можно предположить, что расщепление волны S на S_1 и S_2 , наблюдаемое на продольном вертикальном профиле, обусловлено источником и не связано со средой.

На продольном вертикальном профиле трудно изучить раздвоение S -волн, ибо в горизонтально-слоистой среде вертикальная скважина может совпадать с направлением оси симметрии упругих свойств среды. Поэтому, вероятно, удастся наблюдать этот эффект на наклонных лучах из непродольных ПВ.

Рассмотрим поляризацию прямых S и преломленных $S_{пр}$ волн на непродольных вертикальных профилях. Во многих случаях в результате суперпозиции нескольких волн образуется сложная интер-

Поляризация поперечных волн на продольном профиле.
Скв. Зимовниковская 1 ПВ-1 (50м Аз 143)



Стереограмма, H=300 м

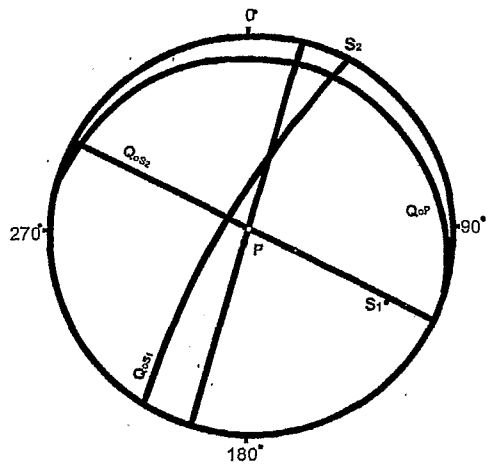


Рис. 7. Полярные сейсмограммы

Поляризация прямых (рефрагированных) S-волн
Скв. Зимовниковская 1 ПВ-2 (1159м Аз 269)

H=400м

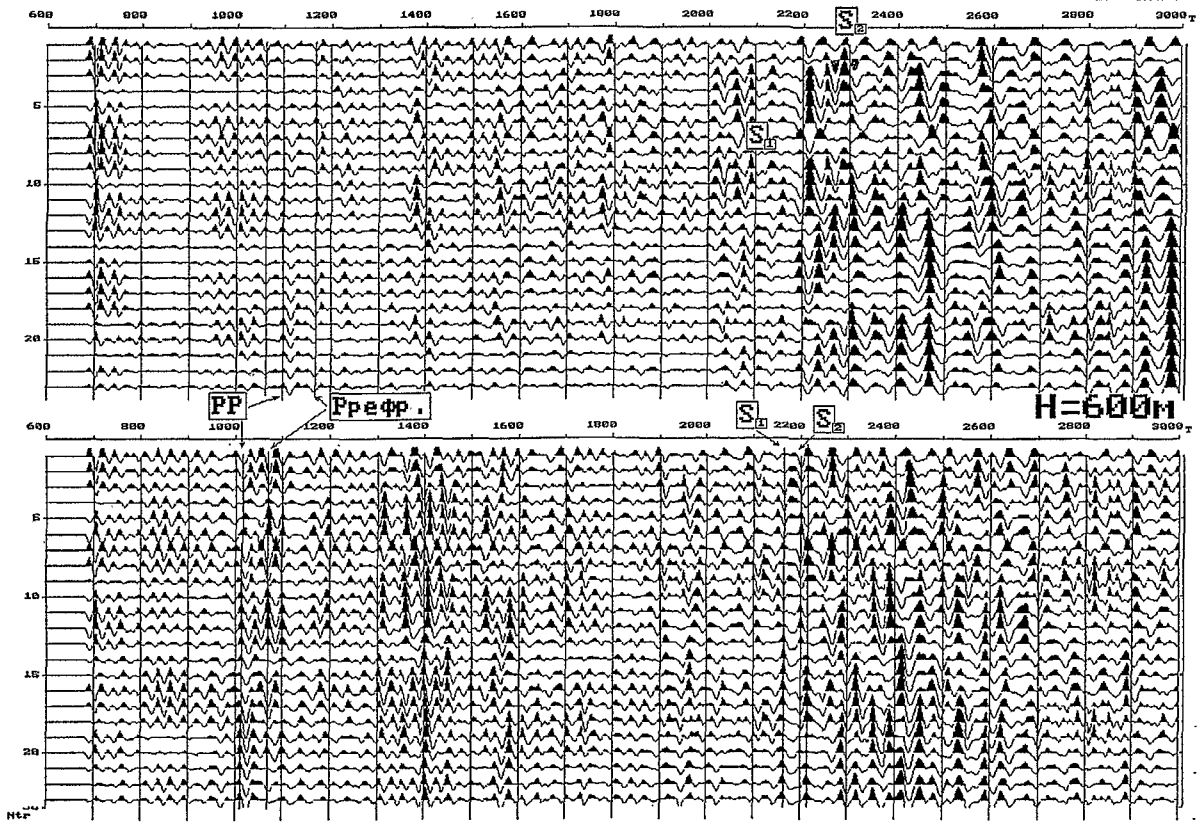


Рис. 8. Полярные сейсмограммы, иллюстрирующие выделение S-волн

ференционная картина и расщепление поперечной волны на S_1 и S_2 , а также определение параметров их поляризации по характерным особенностям записи не так очевидны. Направление смещения для импульса S_2 определить труднее, поскольку с момента его регистрации запись становится интерференционной.

Для большинства глубин, но с разной степенью уверенности, импульсы S_1 и S_2 хорошо выделяются на различных компонентах полярных сейсмограмм, причем можно определить временные сдвиги между ними. Они не изменяются закономерно для S и S_p , а также для разных глубин и составляют в среднем около 70 мс, т. е. существенно больше, чем для продольного профиля, и обусловлены, по-видимому, анизотропными свойствами среды.

На рис. 8 даны примеры полярной корреляции волны S ($H=400$ м), как короткого импульса и S_{np} ($H=1600$ м). Волна S_1 хорошо выделяется на компонентах 6, 7, 11, 17, где минимальна интенсивность импульса S_2 (см. рис. 8). Волна S_2 — на составляющих 2, 13, 20, где мала амплитуда S_1 , регистрируется как трехфазное колебание; $\Delta t_{S_2-S_1}$ около 70 мс.

Смещения в волнах S_1 и S_2 близки к горизонтам и поляризованы: S_1 — вблизи плоскости поляризации волны $P(Q_P)$, S_2 — вблизи плоскости нулевых смещений волны $P(Q_{OP})$.

Волна S_{np} на полярной сейсмограмме, как и S , расщепляется на два коротких импульса: S_{np1} (составляющие 15, 16, 21, 22) и S_{np2} (составляющие 10, 11); $\Delta t_{S_2-S_1}$ около 65 мс. Обе волны поляризованы взаимно ортогонально вблизи плоскости нулевых смещений волны $P(Q_{OP})$, касательной к фронту волны.

На сводной стереограмме (рис. 9) представлены направления смещений S_1 и S_2 в волнах S и S_{np} , определенные по полярным сейсмограммам для разных пунктов взрыва (ПВ-2, 3, 4) и разных глубин наблюдения. Для наглядности смещения волны P совмещены в одном направлении для всех глубин и ПВ.

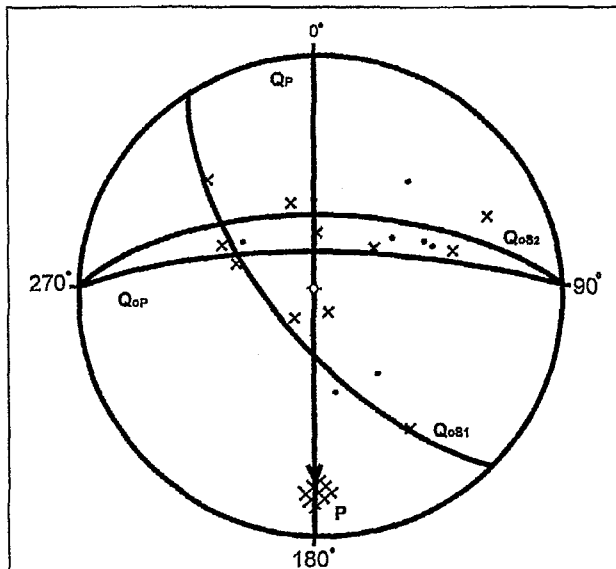


Рис. 9. Сводная стереограмма областей прослеживания рефрагированных и прямых поперечных волн (S_1 , S_2 , S_{np})

Подавляющее большинство смещений S_2 группируется вокруг плоскости Q_{S2} , близкой к плоскости Q_{OP} (фронту волны P), отклоняясь от нее в среднем на 20° к горизонтали и оставаясь по одну сторону (правую) от вертикальной лучевой плоскости Q_P волны P .

Смещения S_1 локализируются вокруг плоскости Q_{S1} , близкой к вертикальной, отклоняющейся от лучевой плоскости Q_P по азимуту $\sim 40^\circ$.

Таким образом, полярная корреляция волн S и S_{np} позволила изучить их поляризацию, выделить в начальной части записи волн составляющие импульсы S_1 и S_2 , отличные по смещениям и скоростям распространения. отождествить их строго с колебаниями типа SV и SH нельзя, хотя S_1 и тяготеет к SV , а S_2 — к SH поляризации.

Скоростные и упругодеформационные модули среды

Данные о скоростях сейсмических волн получены по записям прямых (P и S), обменных отраженных и проходящих волн и представлены графиками пластовых и интервальных скоростей V_P и V_S , упругими параметрами: $\gamma = V_S/V_P$, коэффициентом Пуассона (σ), модулем Юнга (E) и постоянными Ламе (λ и μ).

Скорости сейсмических волн в исследуемом районе имеют тенденцию закономерного увеличения с глубиной. От дневной поверхности (подошва ЗМС) до глубины 840 м пластовые скорости продольных волн возрастают медленно — от 1720 до 2360 м/с. В интервале глубин 850...1350 м, представленном в разрезе литологическими разностями разновозрастных пород палеоцена — нижнего мела, они принимают соответственно значения от 2620...3170 до 3530 м/с. В отложениях среднего карбона, сложенных органогенными известняками, плотными известковистыми песчаниками и сланцами, наблюдается резкий скачок пластовых скоростей продольных волн (V_P) до глубины 1350...1600 м, где они характеризуются самыми высокими значениями, достигающими 4800...5260 м/с.

Аналогично изменяются пластовые скорости поперечных волн (V_S). Их наименьшие значения отмечаются в неоген-олигоценых глинисто-алевролитовых отложениях — 520...470 м/с. В эоцен-олигоцене, представленном плотными аргиллитами и песчаниками скорости возрастают от 580 до 1190 м/с.

Значительные перепады скоростей V_S происходят также на кровле нижнего палеоцена (известковистые плотные песчаники), где различия в значениях скоростей V_{Snp} превышают 300 м/с. Однако наиболее резкой скоростной границей для поперечных волн, равно как и для продольных, является кровля среднего карбона, где пластовые скорости V_{Snp} достигают максимальных значений — 1220 м/с. Очевидно, что столь резкая дифференциация среды по скоростям как продольных, так и поперечных волн, весьма благоприятна для образования кратных отражений, что подтверждается анализом соотношения интенсивности одно- и многократных продольных волн.

На графиках интервальных скоростей, определенных на скользящих базах 40, 60 и 80 м (рис. 10), выделены слои относительно меньшей толщины, чем на графиках пластовых скоростей. Это указывает на возможность более детального расчленения разреза по скоростным параметрам. Примерно такая же детальность достигается при расчленении разреза по интервальной скорости поперечных волн. Сравнение интервальных скоростей продольных и поперечных волн показывает, что скоростные границы по P - и S -волнам так же, как и по пластовым скоростям, в основном совпадают.

Наиболее четко литологические и структурные особенности исследуемого разреза проявляются в изменениях упругодеформационных модулей среды ($\gamma = V_S/V_P$, коэффициента Пуассона σ и др.).

Оценим характер изменения параметров γ и σ . Минимальные значения параметра γ (0,2) отмечаются в плейстоцене, сложенном суглинками, супесями, слабыми глинами. Изменения параметра γ в терригенном, преимущественно глинисто-алевролитовом, разрезе эоцена и олигоцен-миоцена отражают эффект уплотнения пород с глубиной, что проявляется в увеличении параметра γ от 0,26 до 0,33...0,34. На этом фоне выделяется интервал 410...580 м с относительно повышенными значениями γ (0,40...0,56), обусловленными, по всей вероятности, литологическими особенностями верхней части среднего эоцена. Максимальными значениями γ характеризуются карбонат-

ные отложения верхнего мела ($\gamma=0,57$) и органогенные известняки, сланцы среднего карбона ($\gamma=0,68$).

Распределение коэффициента Пуассона σ по разрезу отличается тем, что здесь наблюдается обратная закономерность по сравнению с параметром γ . По графику $\sigma(H)$ для песчано-глинистых отложений неоген-палеогена отмечается общее уменьшение коэффициента Пуассона с глубиной (рис. 11). Причем в самой верхней части разреза, в четвертичных отложениях, коэффициент σ принимает предельное значение — 0,5. На больших глубинах параметр σ изменяется от 0,46 в майкопских глинах до 0,42...0,35 в песчаниках и известняках палеоцена. Наблюдаемые на глубинах 450...1080 м небольшие изменения этого параметра связаны со сменой литологического состава глин на песчаники, плотные мергели. Глубже значения коэффициента Пуассона стабилизируются в пределах 0,29...0,12, характеризуя в целом упругие свойства плотных песчаников, песчанистых и органогенных известняков в самой нижней части вскрытого геологического разреза.

Рассмотрим также данные, характеризующие параметры напряжения и деформации, определяемые постоянными Ламе (λ и μ), связанные с механическими свойствами среды — модулем Юнга (E) и коэффициентом Пуассона (σ).

Сопоставление модулей упругости E и сдвига μ с параметрами γ и σ показывает, что повышенным значениям γ и пониженным значениям σ соответст-

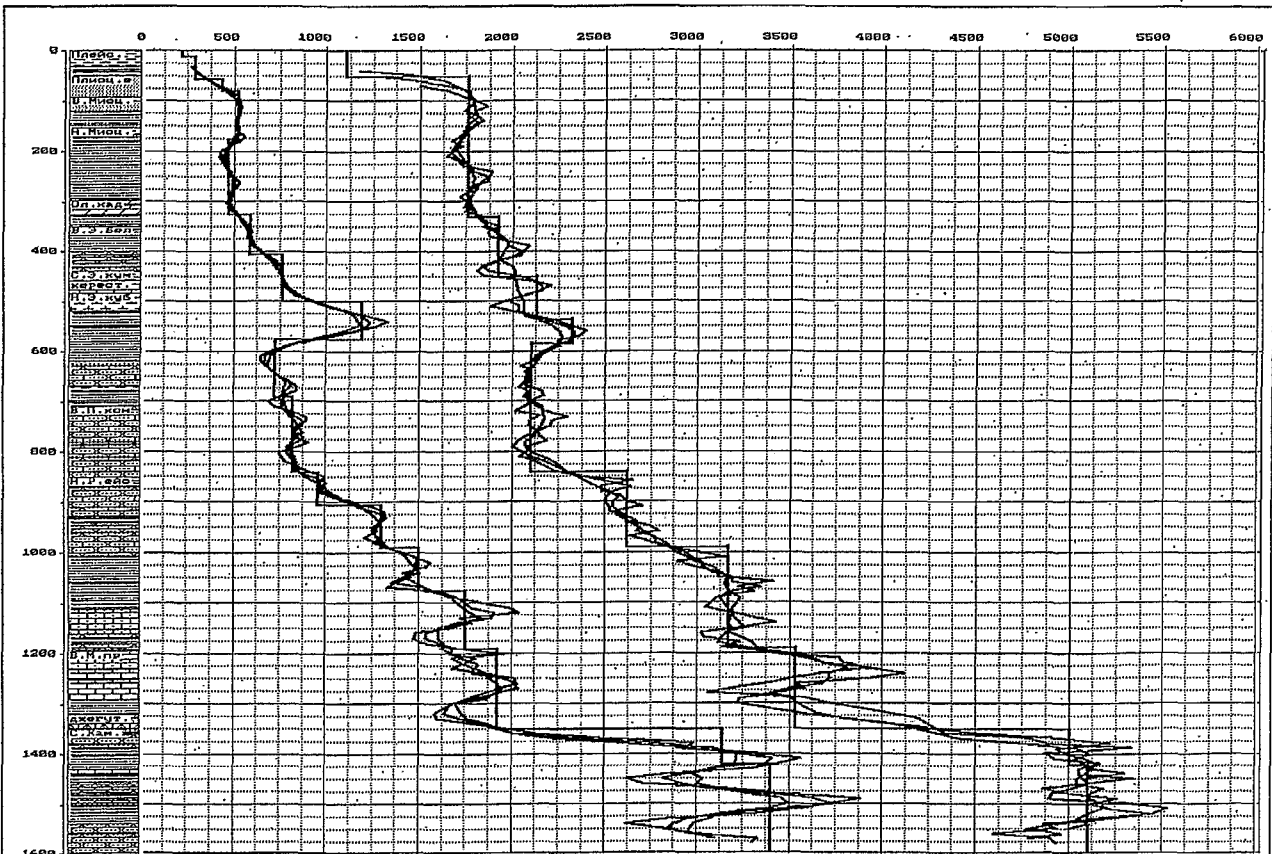


Рис. 10. Графики изменения с глубиной интервальных скоростей V_P и V_S для различных баз осреднения (40, 60 и 80 м) и пластовых скоростей $V_{Pпл}$ и $V_{Sпл}$

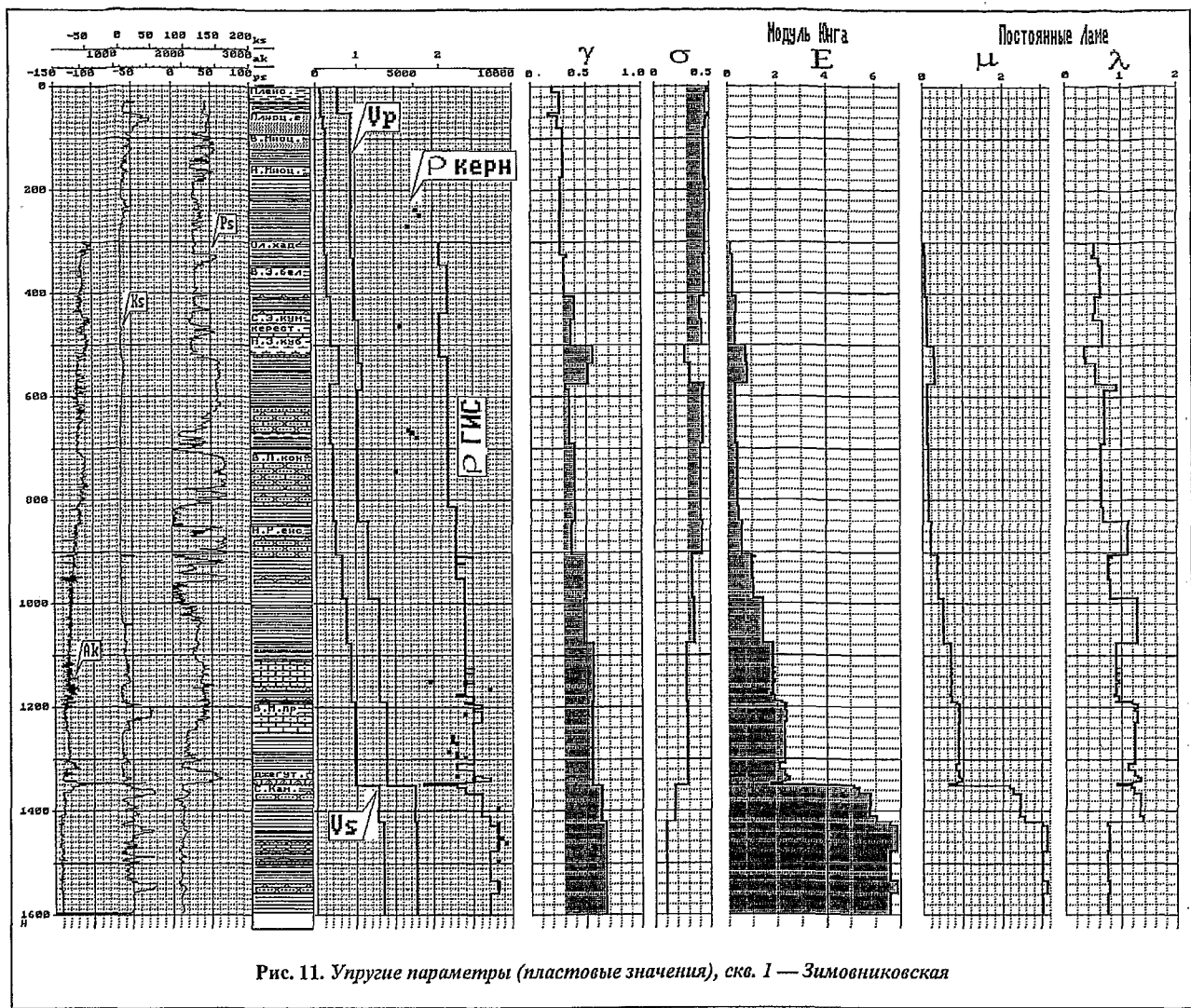


Рис. 11. Упругие параметры (пластовые значения), скв. 1 — Зимовниковская

вуют повышенные значения модулей упругости и сдвига, причем для модуля Юнга это выражено более резко (см. рис. 11). Очевидно, что с увеличением нагрузки вышележащих слоев уменьшается пористость пород и происходит их уплотнение. Это приводит к уменьшению с глубиной коэффициента Пуассона и увеличению модуля Юнга. При этом литология пород оказывает определяющее влияние на упругие свойства среды.

Именно этими причинами можно объяснить резкое увеличение модулей Юнга и сдвига на кровле среднекаменноугольных отложений, представленных органогенными известняками, сланцами. На этой границе, хотя и отмечается увеличение плотности пород, но не столь существенно, чтобы привести к таким большим изменениям этих параметров.

Полученные данные на скв. 1 — Зимовниковская близки к теоретическим и характерны для терригенных отложений со слабой скоростной дифференциацией среды, за исключением интервала 1350...1600 м, представленного плотными породами среднего карбона.

Литологические изменения в разрезе достаточно тонко проявляются на графике $\lambda(H)$. В частности, более плотные породы (песчаники, известняки и др.) отмечаются пониженными значениями λ по сравнению с менее плотными (глины, мергели и др.). Это наблюдается по всему разрезу, вскрытому скважиной. Так, песчаники в кровельной части среднего карбона характеризуются существенно большими значениями параметра λ , чем уплотненные сланцы, залегающие на большей глубине.

Еще более тесная связь литологии пород с упругими характеристиками среды отмечается на графиках, полученных с использованием интервальных скоростей продольных и поперечных волн (рис. 12).

Здесь практически по всем параметрам (σ , E , μ , λ и др.) выделяются границы смены литологии пород. Поэтому для повышения эффективности разведки на нефть и газ необходимо накапливать такие данные с целью прогноза литологии, пористости коллекторов, нефтегазонасыщения, в том числе прочности, разбураемости горных пород и других характеристик. Все эти данные получены в сейсмическом диапазоне частот.

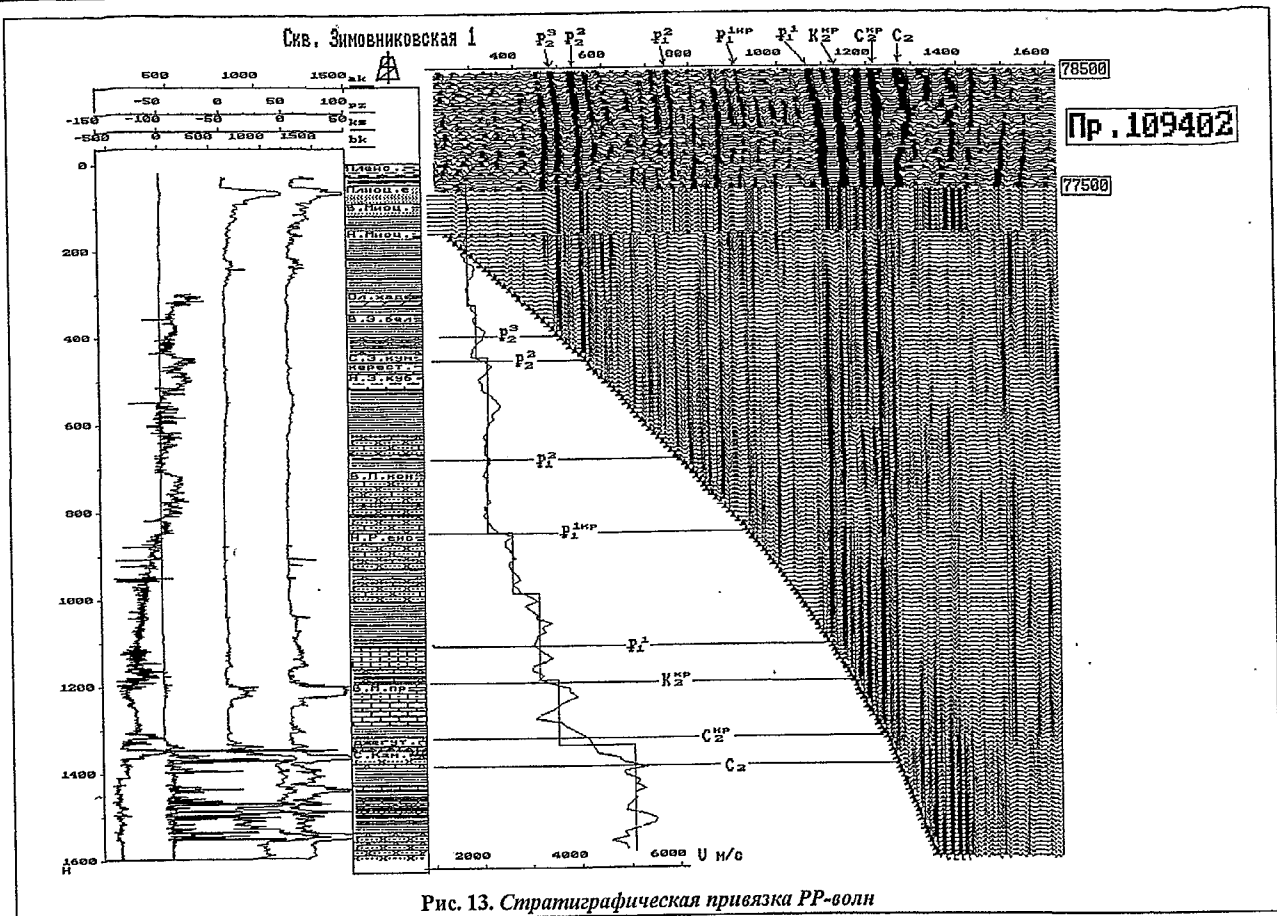


Рис. 13. Стратиграфическая привязка PP-волн

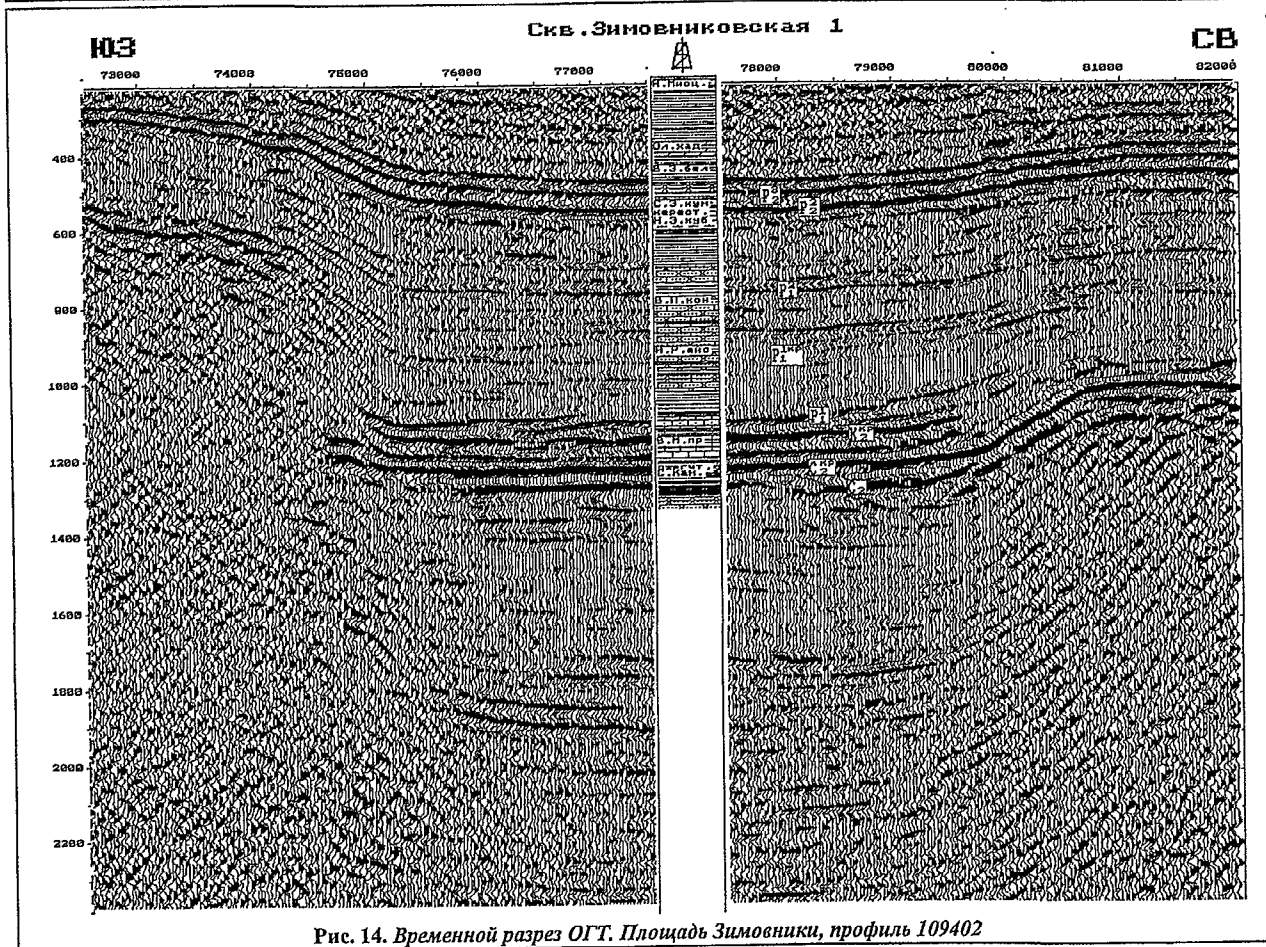


Рис. 14. Временной разрез ОГТ. Площадь Зимовники, профиль 109402

Вторая группа опорных отражений регистрируется на временах 1,12...1,22 с и соответствует отложениям верхнего мела. В основных чертах она также хорошо отождествляется на разрезах ОГТ и ВСП. Однако последний характеризуется большей детальностью.

Над этой группой отражений выделяется интенсивная отраженная волна от плотного песчаника в нижней части палеоцена. В отличие от верхнемеловых отражений отражение от песчаника палеоцена имеет неустойчивую динамику на профиле ОГТ и изменчивую форму записи.

К юго-западу от скважины (см. рис. 14, ПК 77200) отмечается локальное увеличение временной мощности соответствующего интервала разреза, которое может быть связано с аккумулятивным телом или рифовым образованием. Его поверхность имеет вид бескорневой малоамплитудной складки, затухающей вверх по разрезу.

В промежутке между рассмотренными опорными волновыми пакетами регистрируются отражения средней интенсивности, приуроченные в основном к песчаникам нижнего эоцена и верхнего палеоцена.

Волновое поле, связанное со средним карбоном, имеет ряд интересных особенностей. В верхней части этих отложений ($H \approx 1400$ м) выделено интенсивное отражение. К северо-востоку от скважины по нему проявляются признаки размыва и локального

изменения толщины пород, что может представлять интерес в плане развития коллекторов и формирования литологических ловушек.

Отражения от верхней части среднего карбона имеют повышенную динамическую выразительность как на разрезе ОГТ, так и на разрезе ВСП. Для более глубоких границ установлено заметное несоответствие в динамике волн на вертикальном и наземном профилях. Здесь, вероятно, сказываются экранирующее влияние резкой скоростной границы в кровле карбона, а также повышенный фон кратных волн. Наиболее ощутимо эффект экранирования проявляется для отражений от песчаников верхнего карбона, залегающих на глубинах более 1550 м. При регистрации сигналов в толще карбона (ниже резкой скоростной границы) соответствующие волны имеют повышенную динамическую выразительность, а над скоростной границей интенсивность отражений резко понижается (см. рис. 13). Соответственно и на профиле ОГТ эти волны маловыразительны (см. рис. 14).

Кратные волны также вносят свой вклад в искажение поля полезных отражений. Они регистрируются на временах 1,55; 1,95 и 2,3 с (рис. 15) и в основном связаны с рассмотренными опорными границами (верхний — средний эоцен и поверхность карбона). Учитывая высокоскоростной характер исследуемого разреза, можно предполагать существенный остаточный фон кратных волн на разрезе ОГТ.

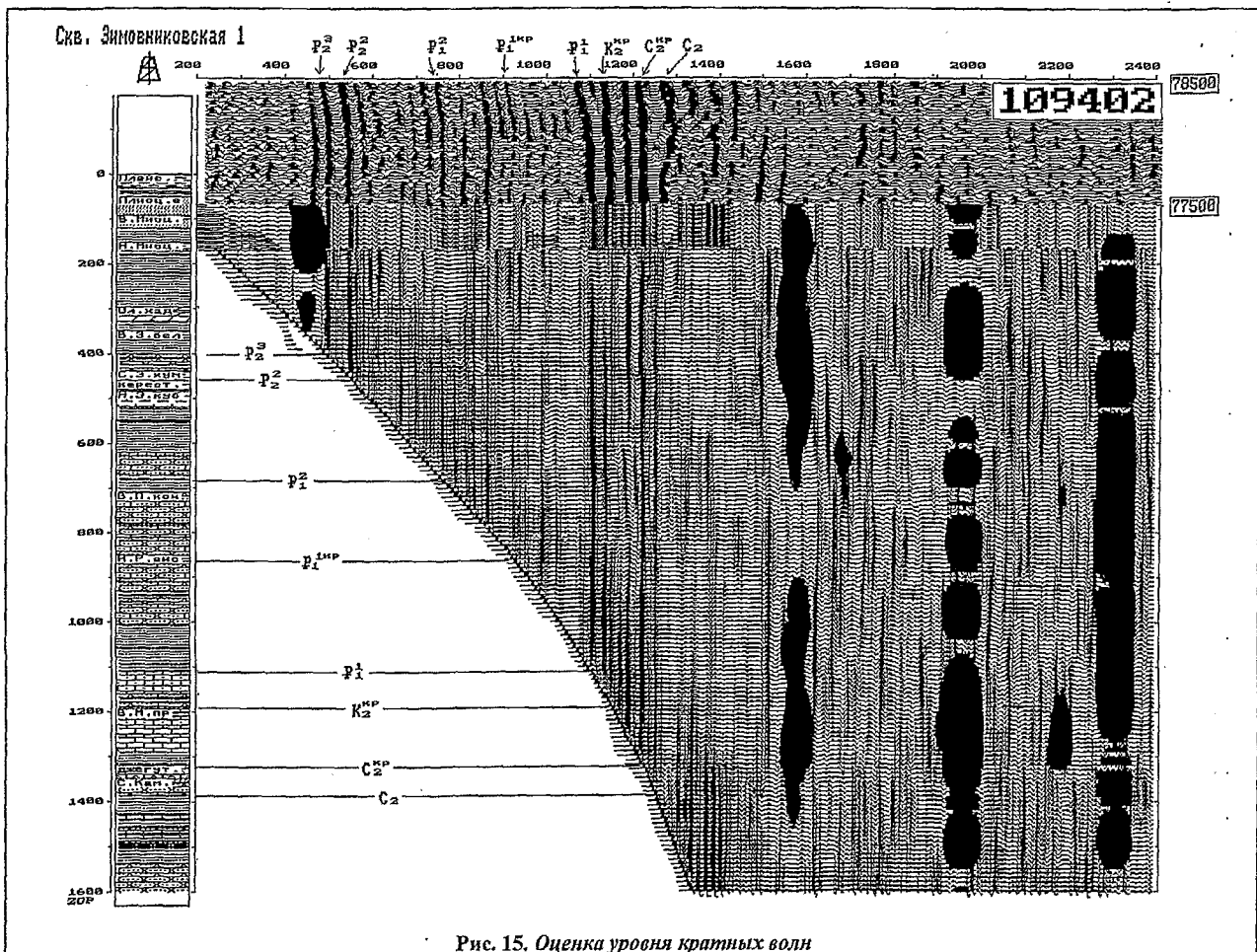


Рис. 15. Оценка уровня кратных волн

Отмеченные особенности нужно учитывать при интерпретации разреза ОГТ в толще карбона. Необходимо всегда иметь в виду фактор экранирования и создавать специальные системы для эффективного подавления высокоскоростных кратных волн.

Результаты стратиграфической привязки РР-волн по данным ПМ ВСП дополнены одномерным геосейсмическим моделированием. Модель рассчитана для нижней части скважины ($H=900...1600$ м), наилучшим образом освещенной данными ГИС.

На рис. 16 представлены результаты геосейсмического моделирования и их сопоставления с реальной трассой однократных отражений. Коэффициент сходства достаточно высок (0,87). Достигнут он при использовании симметричного нуль-фазового сигнала.

Данные о вкладе каждой границы в суммарное волновое поле позволяют детально привязать отраженные волны. В частности, установлено, что отражение от плотных песчаников палеоцена имеет сложную структуру. Оно представлено трехфазным колебанием, образованным в результате интерференции волн, отраженных от границ (7—11) в верхней части песчаников. Наиболее интенсивная положительная фаза, регистрируемая на времени 1,105...1,11 с, на 68 % связана с рассматриваемым интервалом и может быть с ним идентифицирована.

Как отмечалось выше, эта фаза на разрезах ОГТ и ВСП проявляется в виде первой фазы пакета опорных

отражений. За ней, на времени $\approx 1,13$ с, следует вторая фаза пакета, приуроченная к кровле верхнего мела. На 50 % она связана с границами (20—24) в верхней части меловой толщи. Венчает пакет опорных отражений четвертая динамическая фаза ($\approx 1,22...1,23$ с), приуроченная по данным сейсмо моделирования к подошвенной части плотных известняков верхнего мела. Доля границ 30, 31, формирующих эту фазу, составляет 74 %. Она может рассматриваться как подошва мезозоя или кровля палеозоя.

В верхней части среднего карбона первое интенсивное отражение приурочено к границе 41 ($H=1409$ м). Оно регистрируется на времени 1,27...1,28 с. Доля границы 41 составляет в нем 63 %. Эта граница соответствует разделу плотных песчаников и сланцев и может представлять разведочный интерес.

Второй пласт плотного песчаника среднего карбона приурочен к границам 43—46. Отражение от него имеет меньшую интенсивность, чем от верхнего песчаного пласта, и регистрируется на времени 1,31...1,32 с. Доля границ 43—46 в рассматриваемой фазе составляет 71 %.

В заключение отметим, что сейсмо моделирование в значительной мере дополнило результаты стратиграфической привязки по данным ПМ ВСП и позволило разобраться в деталях формирования суммарного волнового поля.

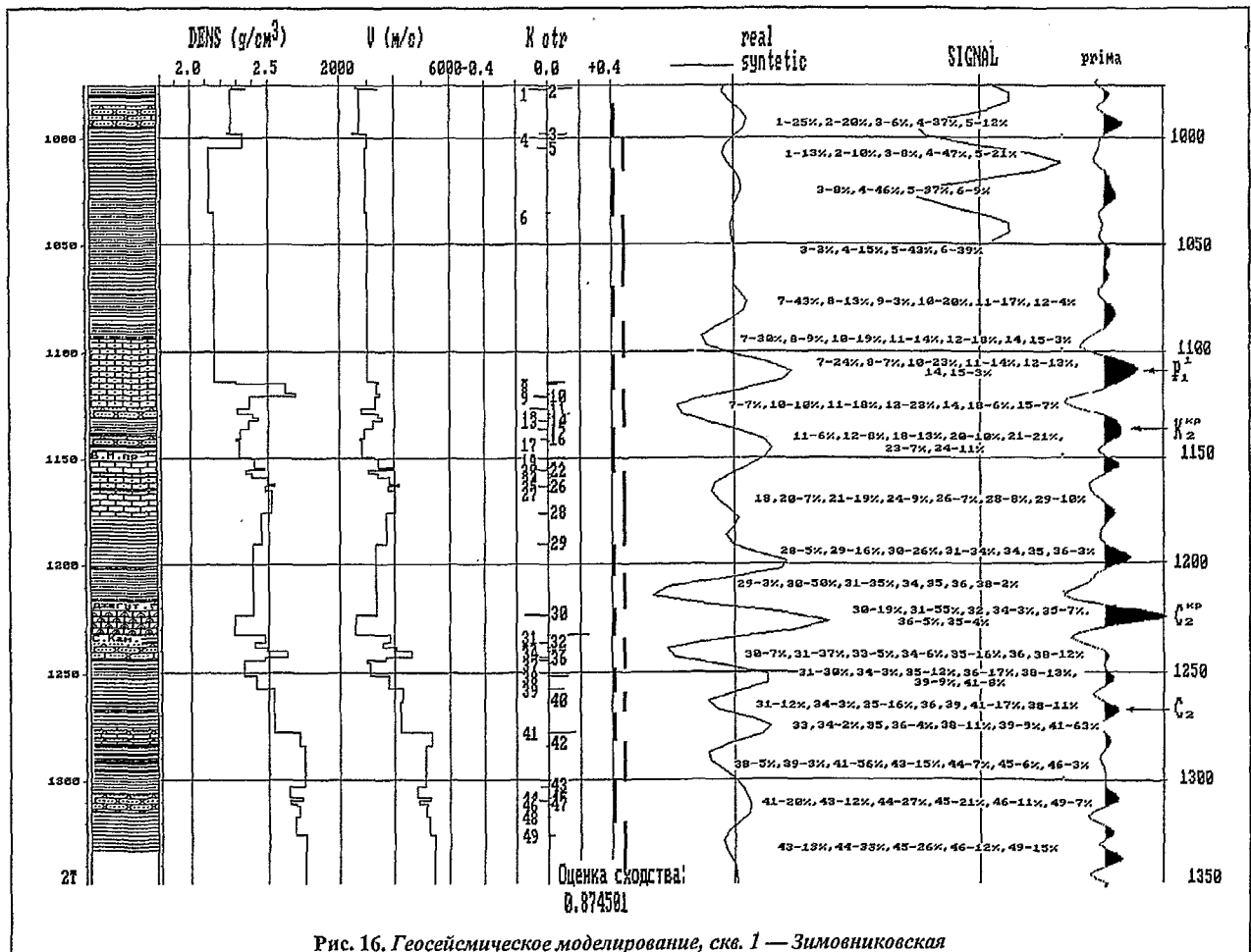


Рис. 16. Геосейсмическое моделирование, скв. 1 — Зимовниковская

ПОГЛОЩАЮЩИЕ СВОЙСТВА СРЕДЫ

Поглощающие свойства среды изучали по графикам изменения амплитудно-частотных спектров с глубиной, пластовых коэффициентов эффективного затухания. Основная энергия колебаний *P*-волны сосредоточена в полосе частот 10...100 Гц.

Эффективное затухание *P*-волны исследовано во всем интервале геологического разреза. Вдоль вертикального профиля максимум основного спектра смещается от 45 до 35 Гц. При этом ширина спектра практически не меняется с глубиной, за исключением интервала 1300...1400 м, где происходит его значительное сужение, связанное с интенсивным поглощением высокочастотных составляющих спектра колебаний.

По данным определения коэффициента эффективного затухания $\alpha_{Pэф}$ исследуемый разрез может быть расчленен на ряд слоев (рис. 17).

Первый слой (интервал 150...350 м), представленный глинами с пропластками песков характеризуется максимальными значениями $\alpha_{Pэф}$, равным $4 \cdot 10^{-3}$ 1/м.

Во втором слое (глубины 350...600 м), охватывающем отложения олигоцен-эоцена разнородного литологического состава — глины, известняки, пропластки слабых песчаных известняков, опоковидных образований, значения $\alpha_{Pэф}$ несколько уменьшаются, но остаются достаточно высокими ($3 \cdot 10^{-3}$ 1/м).

Третий слой (интервал 600...1100 м) включает плотные породы палеогена — песчаники, мергели и лишь в самой нижней части известняки. Здесь отмечается пониженное затухание *P*-волны с $\alpha_{Pэф}$, не превышающим значения ($1 \cdot 10^{-3}$ 1/м).

Четвертый слой (интервал 1100...1600 м), представленный известняками палеоцена — верхнего мела, органогенными известняками, сланцами среднего карбона, отличается от третьего слоя несколько повышенным затуханием, здесь $\alpha_{Pэф} = 1,5 \cdot 10^{-3}$ 1/м.

Таким образом, изменение коэффициента затухания *P*-волны в общих чертах увязывается с особенностями исследуемого разреза и указывает на отсутствие интервалов с аномальным коэффициентом эффективного затухания.

Скв. Зимовниковская 1 ПВ1 (50м Аз 143)

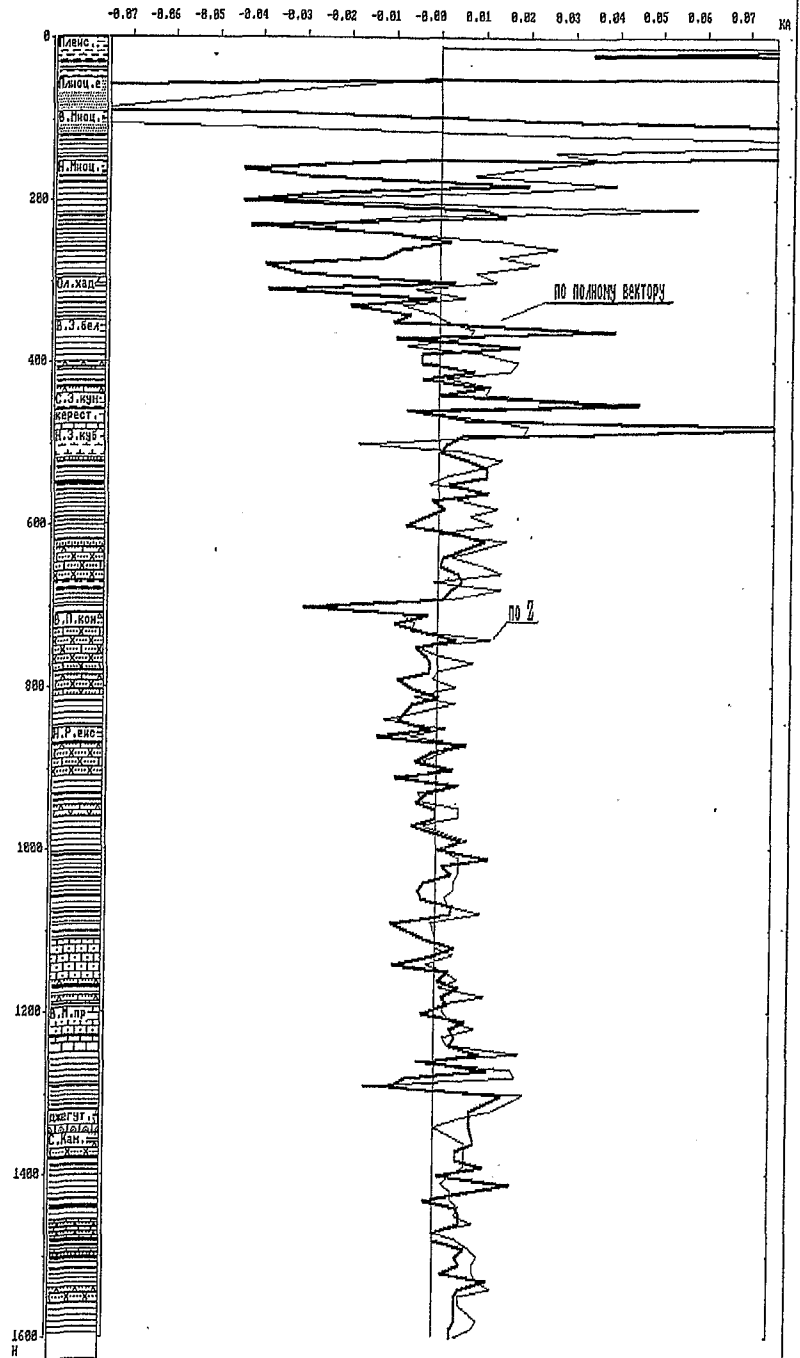


Рис. 17. Определение параметров поглощения

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКОЙ ЖЕСТКОСТИ ВО ВСКРЫТОЙ ЧАСТИ РАЗРЕЗА И НИЖЕ ЗАБОЯ СКВАЖИНЫ

Полученные материалы обеспечили необходимую детальность и точность построения прогнозной кривой акустической жесткости (АЖ) по наблюдениям из продольного ПВ. Сводная кривая АЖ составлена по результатам обработки сейсмических записей на трех уровнях — 500, 1100 и 1300 м (рис. 18).

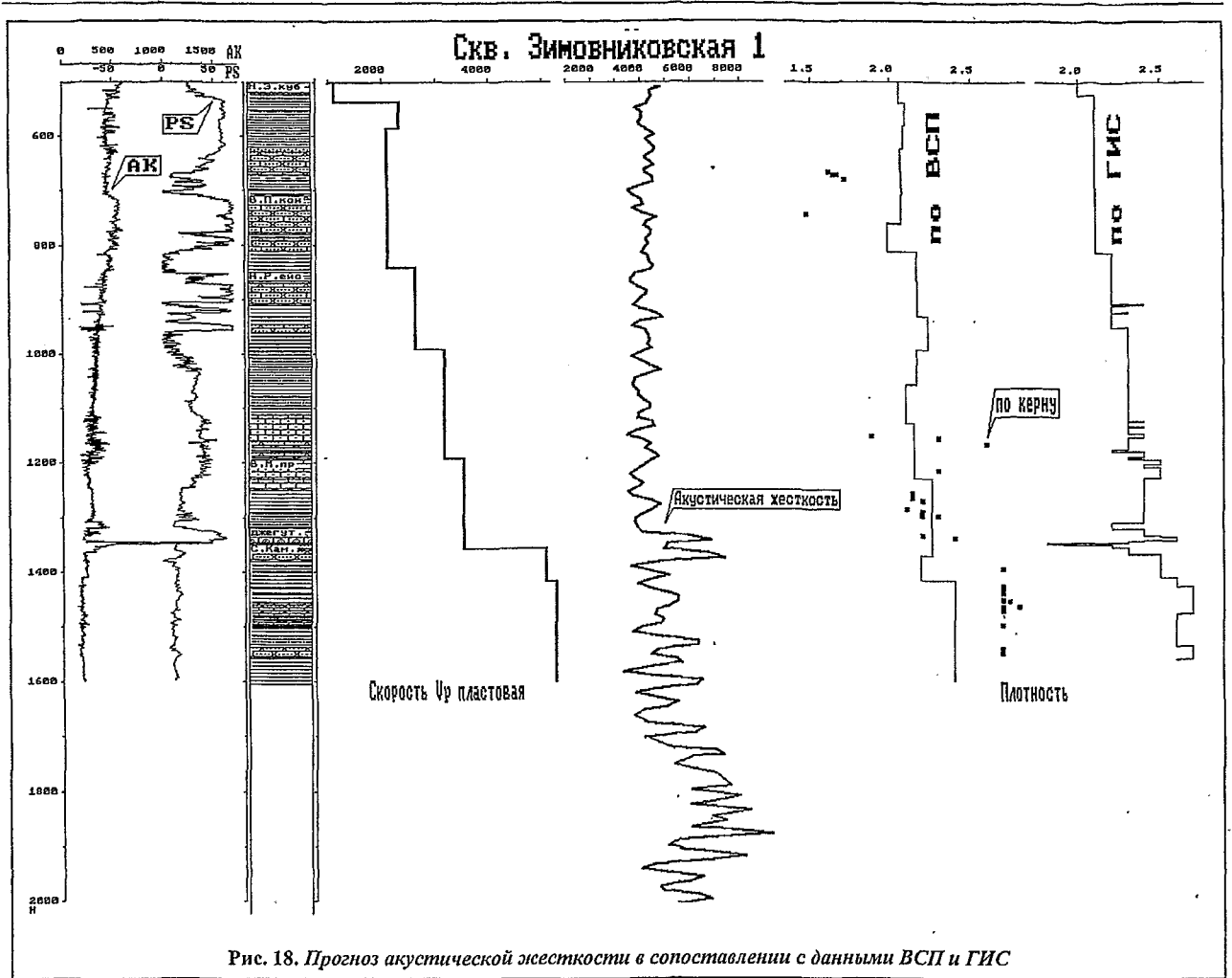


Рис. 18. Прогноз акустической жесткости в сопоставлении с данными ВСП и ГИС

Такой подход позволяет, с одной стороны, оценить достоверность прогноза, а с другой — получить более детальную скоростную модель среды по сравнению со стандартной кинематической обработкой данных ВСП.

Прогнозная кривая АЖ во вскрытой части разреза в общих чертах согласуется с графиком, полученным по данным акустического каротажа (АК), и литологической характеристикой среды.

Как правило, изменения акустической жесткости происходят так же, как и на графике АК, на всех литолого-стратиграфических границах, наиболее резкие из которых приурочены к глубинам 700, 850, 950, 1120, 1340, 1540 м.

Кровля джегутинской свиты выделяется резким скачком значений АЖ от 6,0 до 8,5 кг/(м²·с).

Еще более резкий перепад значений АЖ до 9,5 кг/(м²·с), соответствующий кровле известняков среднего карбона, зафиксирован на глубине 1340 м. Уменьшение акустической жесткости на глубинах 1370...1520 м связано с толщей сланцев в среднем карбоне.

В интервале 1600...1800 м ниже забоя скважины выделены два новых пласта, однако наиболее существенные изменения связаны с низами разреза (1800...2000 м), где средние значения АЖ достигают 10,0...

11,0 кг/(м²·с), что, по-видимому, соответствует плотным породам палеозойского возраста.

Учитывая, что прогнозные значения АЖ получены как во вскрытой, так и в невскрытой части разреза, с учетом имеющихся данных о скоростях V_p проведена оценка изменения плотности горных пород в интервале 500...1600 м (см. рис. 18).

Эти данные были сопоставлены с точечными определениями плотности по керну. Их анализ показывает, что в нижней части разреза, где встречены наиболее плотные породы, прогнозные значения плотности и данные ее определения по керну достаточно близки. В верхней части разреза значения плотности, определенные по керну, на 20...25 % ниже прогнозных, что, возможно, обусловлено значительными изменениями физических свойств керна на дневной поверхности (изменение влажности, появление трещиноватости, хрупкости и т. д.). По результатам прогноза в разрезе отмечены также слой с пониженными значениями АЖ и плотности (песчаники ейской, джегутинской свит и др.), которые должны быть детально изучены. Особый интерес представляет нижняя часть разреза, где могут быть обнаружены зоны пониженных скоростей, перспективные с точки зрения насыщения их углеводородами.

СТРУКТУРНЫЕ ПОСТРОЕНИЯ В ОКРЕСТНОСТИ
ИССЛЕДУЕМОЙ СКВАЖИНЫ

Система наблюдений ПМ ВСП в скв. 1 — Зимовники позволила выполнить схематичные структурные построения. Они дают общие представления об особенностях глубинного строения в окрестности исследуемой скважины. В условиях низкой плотности наземных наблюдений такие данные весьма полезны.

Структурные схемы масштаба 1:5000 построены по глубинным разрезам ВСП—ОГТ с учетом наземного профиля ОГТ по трем опорным сейсмическим горизонтам: кровле нижнего палеоцена (рис. 19, а), кровле верхнего мела (рис. 19, б) и кровле среднего карбона (рис. 19, в); освещено строение околосква-

жинного пространства до удалений 500...600 м от скважины.

Установлено, что рассматриваемые горизонты в окрестности скважины залегают в виде узкого выступа, погружающегося в юго-западном направлении. С глубиной наклон горизонтов уменьшается и выступ несколько выполаживается.

Наиболее наглядно это проявляется на глубинном разрезе ПВ-2 (рис. 20), а также при сопоставлении структурных схем палеоцена и среднего карбона (см. рис. 19, а, в).

Рассматриваемые структурные построения характеризуют лишь общие черты глубинного строения и не отражают внутриформационные особенности. Ряд таких интересных особенностей выявлен и рассмотрен ниже в разделе комплексной интерпретации.

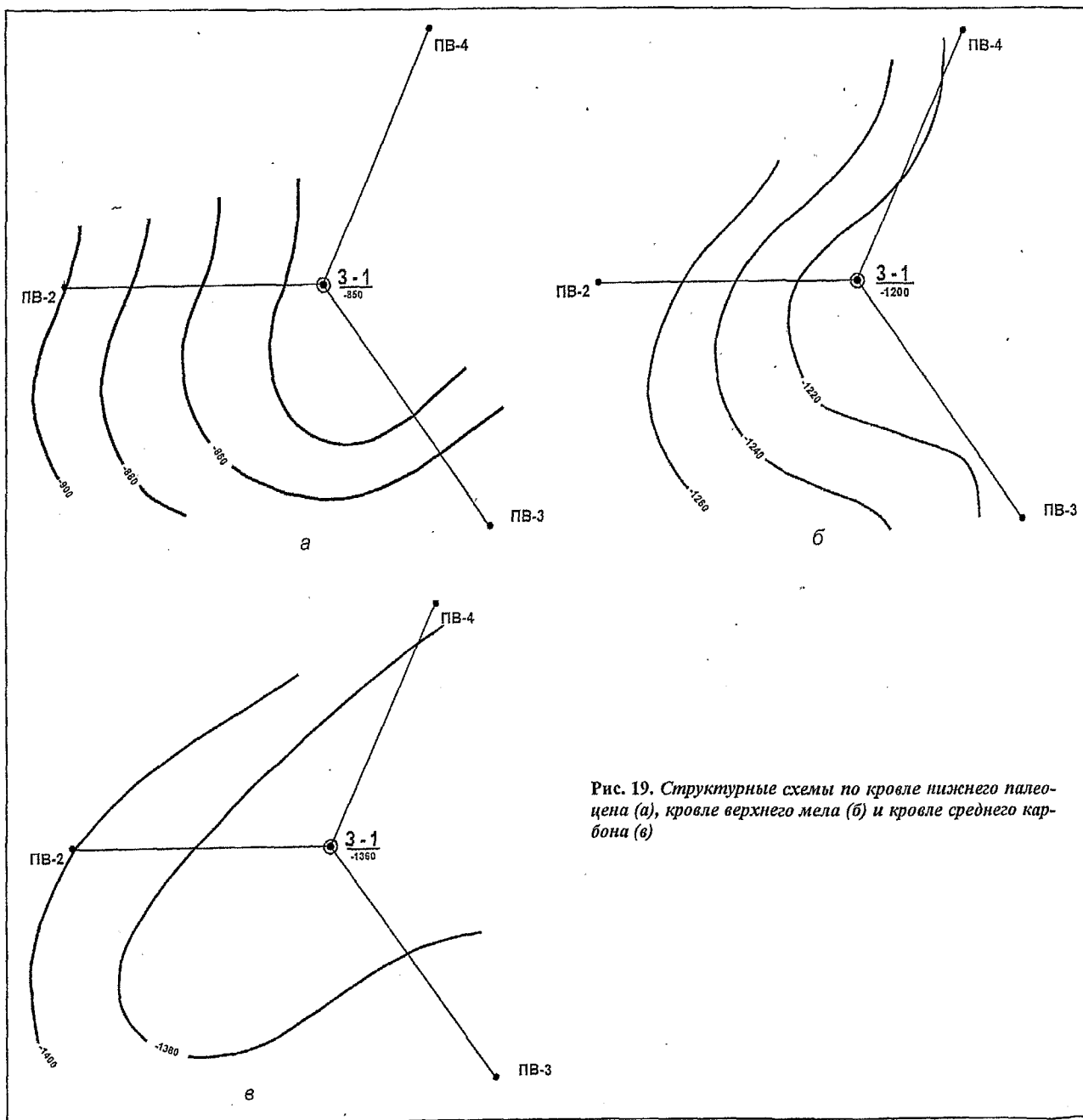


Рис. 19. Структурные схемы по кровле нижнего палеоцена (а), кровле верхнего мела (б) и кровле среднего карбона (в)

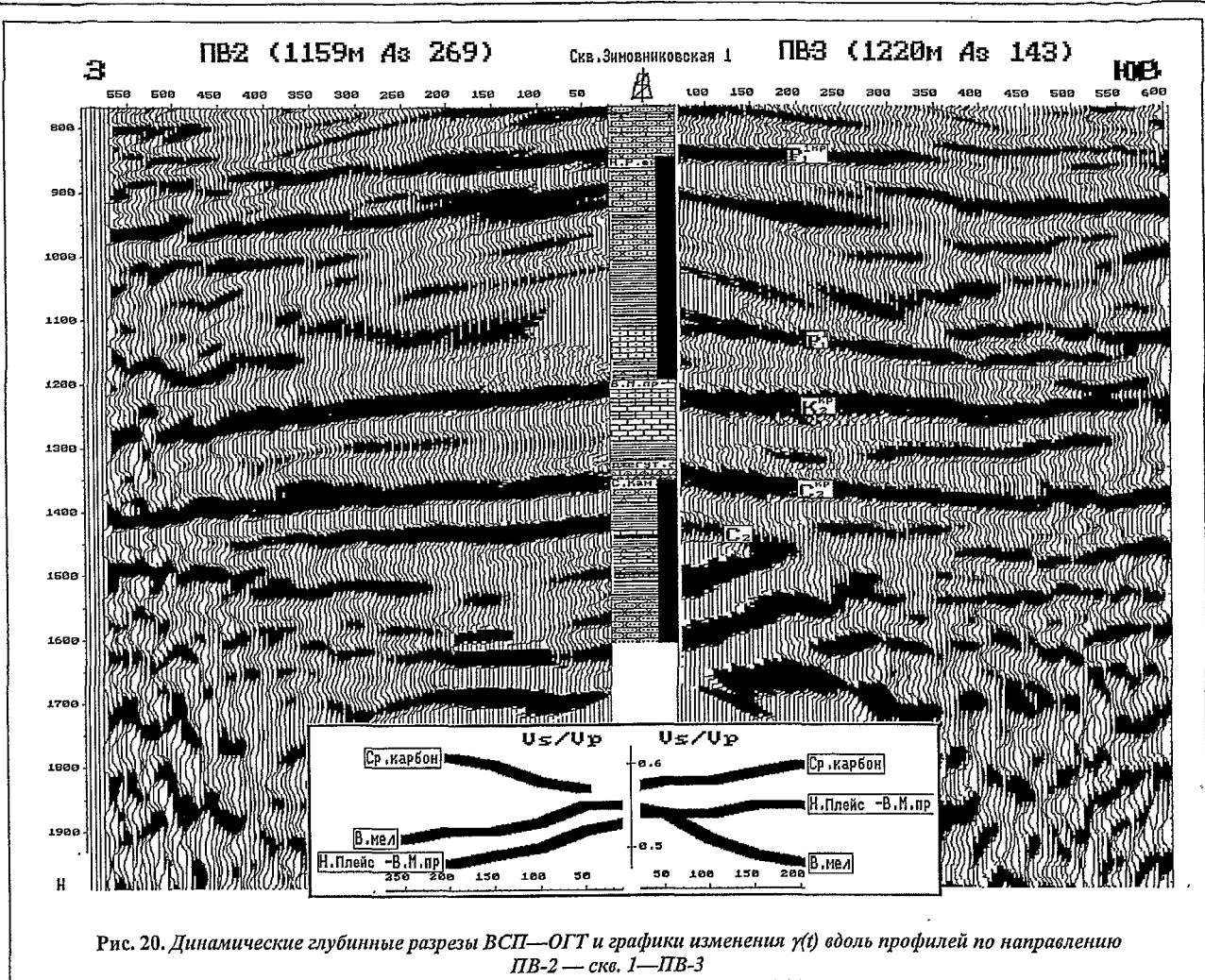


Рис. 20. Динамические глубинные разрезы ВСП—ОГТ и графики изменения $\gamma(t)$ вдоль профилей по направлению ПБ-2 — скв. 1—ПБ-3

КОМПЛЕКСНАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ДАННЫХ ГИС, ВСП И ОГТ

Комплексная интерпретация была нацелена на выявление перспективных объектов в окрестности исследуемой скважины и прогнозирование для них петрофизических характеристик разреза. В процессе интерпретации выявлены три перспективных объекта: аккумулятивные тела в нижнем палеоцене и верхнем мелу, а также врез в верхах среднего карбона.

Рассмотрим полученные результаты для каждого объекта раздельно.

Аккумулятивное тело в низах нижнего палеоцена наглядно проявляется на разрезе ОГТ юго-западнее скважины (см. рис. 14). Оно характеризуется расширением видимой толщи между отражениями от кровли верхнего мела и песчаников нижнего палеоцена. Причем нижний из этих горизонтов в районе рассматриваемого объекта характеризуется дополнительно прогибанием.

На разрезе ВСП западного луча (ПБ-2) динамика отражения от плотного песчаника нижнего палеоцена отличается от отражений на остальных двух лучах (ПБ-3, 4).

На разрезах ПБ-3, 4 (рис. 21) рассматриваемый сейсмический горизонт представлен протяженным

динамически выраженным отражением, а на ПБ-2 (рис. 20) — хаотичной записью. Таким образом, рассматриваемая аномалия локализуется к западу (ПМ ВСП—ПБ-2) и юго-западу (профиль 109402) от скважины.

По результатам комплексной интерпретации *PP*- и *PS*-волн установлено, что в западном направлении (ПБ-2) в разрезе нижнего палеоцена происходит уменьшение параметра γ от 0,53...0,54 вблизи скважины до 0,48 на удалении 200 м (см. рис. 20) от нее. На остальных двух пунктах взрыва ПБ-3, 4 параметр γ имеет стабильный уровень значений (0,53...0,54).

Уменьшение параметра γ в сторону аккумулятивного тела указывает на разуплотнение пород нижнего палеоцена в нем. Возможно, данная аномалия связана с органогенной постройкой или с песчаным баром. В любом случае она может представлять разведочный интерес, но предварительно требует детализационных исследований.

Отметим, что, по данным профиля 109402, рассмотренный объект в нижнем палеоцене находится на склоне аналогичного объекта верхнего мела. Это указывает на унаследованность их развития и общую природу.

Для верхнемелового объекта характерно уменьшение параметра γ преимущественно в юго-восточном

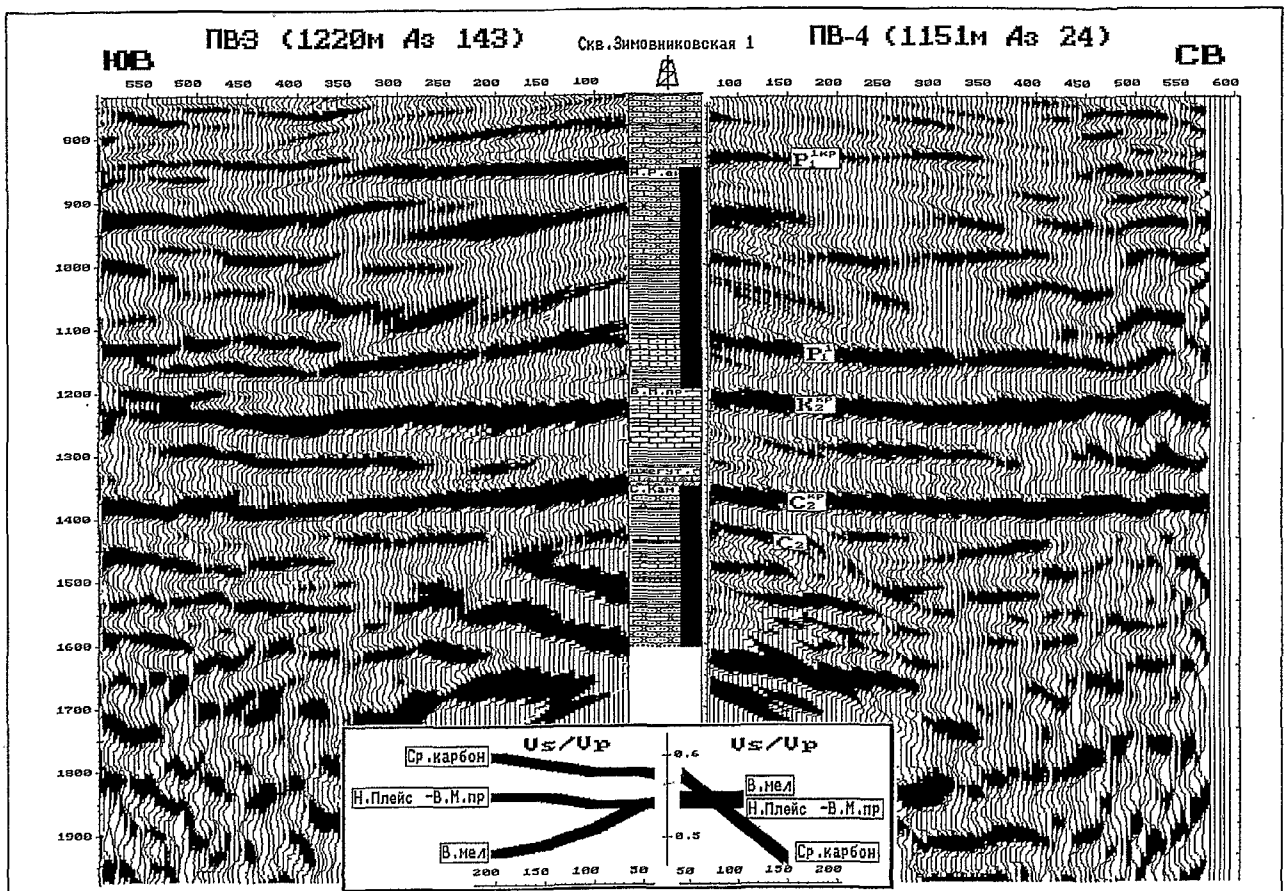


Рис. 21. Динамические глубинные разрезы ВСП—ОГТ и графики изменения $\gamma(t)$ вдоль профилей по направлению ПВ-3 — скв. 1—ПВ-4

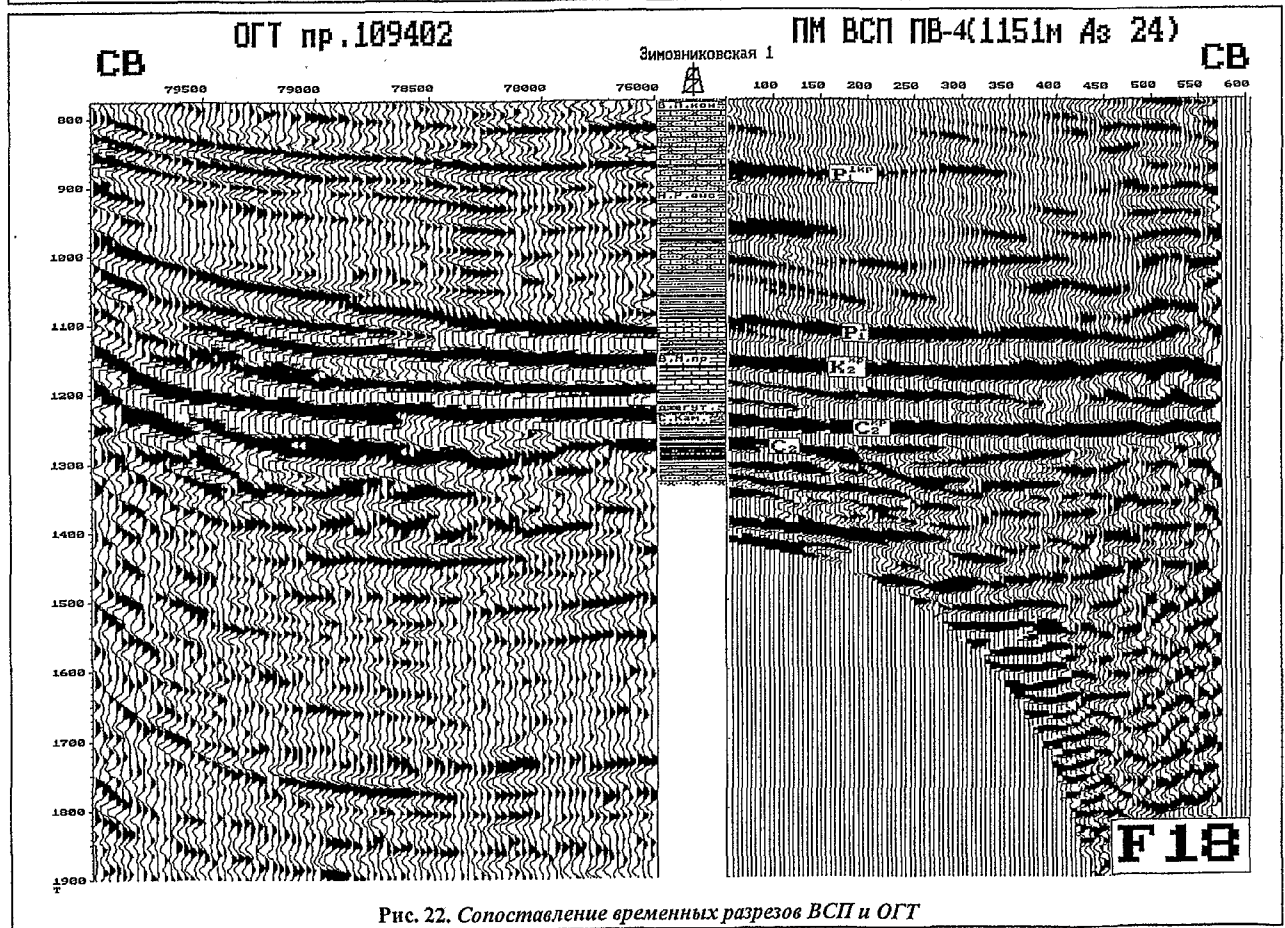


Рис. 22. Сопоставление временных разрезов ВСП и ОГТ

направлении (ПВ-3) и в меньшей мере — в западном (ПВ-2, см. рис. 20).

Таким образом, для аккумулятивных тел нижнего палеоцена и верхнего мела наиболее перспективен сектор, расположенный к юго-западу от скважины (между ПВ-2 и ПВ-3).

В верхах среднего карбона картина иная. Здесь ПВ-2 и ПВ-3 характеризуются устойчивой волновой картиной и увеличением параметра γ от 0,57 до 0,61, что может быть связано с уплотнением карбонатов. В северо-восточном направлении (ПВ-4) γ уменьшается от 0,57 до 0,47.

Наличие здесь фации заполнения вреза в сочетании с закономерным уменьшением γ позволяет связывать с данным объектом определенные перспективы.

Фации врезов выделяются не только на разрезе ОГТ, но и на ВСП. В частности, на ПВ-4 (рис. 22) увеличение параметра γ происходит именно в зоне развития вреза в среднем карбоне. Врез начинает развиваться на удалении 200 м от скважины.

ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

Применение поляризационного метода ВСП, основанного на комбинировании селекции волн в точке по признаку поляризации с селекцией волн по признаку распространения, обеспечивает анализ сложных волновых полей на основе использования всех их параметров (частоты, поляризации и скорости) и одновременное выделение и прослеживание волн вне зависимости от их типа и скорости распространения.

Наблюдениями в условиях Восточно-Донецкого поднятия подтверждена эффективность поляризационного метода ВСП с использованием вибрационного источника и показано, что зарегистрированное здесь волновое поле образовано совокупностью волн различной природы и типов (продольных, обменных и поперечных) — продольными отраженными и кратными (*PP*) волнами, обменными (*PS*) отраженными и проходящими волнами, а также монотипными поперечными *SV*- и *SH*-волнами, поляризованными близко к лучевой плоскости или ортогонально ей (*SH*-волны).

Совместная обработка и интерпретация выделенных волн позволила изучить поляризацию сейсмических волн, скоростные характеристики, поглощающие свойства и упругодеформационные модули среды, осуществить стратиграфическую привязку волн и прогнозирование акустической жесткости, получить разрезы ВСП — ОГТ по *PP*- и *PS*-волнам, построить структурные схемы и выполнить комплексную интерпретацию материалов.

Исследованиями ПМ ВСП показано, что поляризация *P*-волны тесно связана со скоростным разрезом и несет в себе независимую информацию о его особенностях.

Исследуемый разрез отличается высокой дифференциацией по скоростям V_p и V_s , причем положе-

ние скоростных границ для *P*- и *S*-волн в основном совпадает. Литологические и структурные особенности разреза четко проявляются в изменениях упругодеформационных модулей среды ($\gamma = V_s/V_p$, коэффициент Пуассона σ и др.); максимальные значения γ (0,54...0,56) отмечаются в карбонатных верхнемеловых среднекаменноугольных отложениях, а минимальные ($\gamma = 0,26...0,33$) — в терригенных породах олигоцен-миоцена.

Получены новые данные, характеризующие параметры напряжения и деформации горных пород, определяемые постоянными Ламе (λ и μ).

Стратиграфическая привязка отраженных волн показала, что *PP*- и *PS*-волны связаны с одними и теми же границами, на сейсмических записях доминируют отражения от среднего и верхнего эоцена, верхнего мела и от поверхности среднего карбона. Детальная привязка волн и вклад отдельных границ в суммарное волновое поле изучены на основе гео-сейсмического моделирования.

Установлено, что на временах регистрации отражений от среднего карбона присутствуют интенсивные кратные волны, подавление которых при работах ОГТ может быть недостаточно эффективным.

На основе решения обратной динамической задачи уточнен характер скоростных границ во вскрытой части разреза, осуществлен прогноз глубины залегания уплотненных пород палеозоя, а также выявлены слои с пониженными значениями скорости и плотности.

Разрезы ВСП — ОГТ получены по трем лучам до удалений 500...600 м от скважины. По ним построены структурные схемы масштаба 1:5000 для трех горизонтов: поверхности нижнего палеоцена, кровли верхнего мела и среднего карбона. По всем горизонтам в районе скважины наблюдается узкий структурный выступ.

В результате комплексной интерпретации данных ГИС, ВСП и ОГТ выявлены три перспективных объекта: аккумулятивные тела в нижнем палеоцене и верхнем мелу, а также врез в верхах среднего карбона. Все они характеризуются уменьшением параметра γ по отношению к его значениям в скважине.

Уменьшение γ может быть связано с разуплотнением пород и повышением их проницаемости.

Первые два объекта предположительно связаны с органогенными постройками или с песчаными баррами, а последний — с фациями заполнения вреза. Для объектов нижнего палеоцена и верхнего мела наиболее перспективен сектор, расположенный к юго-западу от скважины. Врез в среднем карбоне развивается северо-восточнее скважины.

На основании полученных результатов рекомендуются: детализация выявленных перспективных объектов и продолжение исследований ПМ ВСП во вновь пробуренных скважинах.