



РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ МЕТОДОМ ВСП АЗИМУТАЛЬНОЙ АНИЗОТРОПИИ ПАЛЕОЗОЙСКОГО ФУНДАМЕНТА НА БЫСТРОВСКОМ ВИБРОСЕЙСМИЧЕСКОМ ПОЛИГОНЕ

С.Б. Горшкалев, В.В. Карстен

*Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН,
630090, Новосибирск, просп. Акад. Коптюга, 3, Россия,
Новосибирский государственный университет, 630090, Новосибирск, ул. Пирогова, 1, Россия,
e-mail: GorshkalevSB@ipgg.sbras.ru*

В настоящее время в связи с выработкой запасов большинства месторождений нефти и газа Западной Сибири, залежи которых в основном относятся к нижнемеловому и юрскому интервалу разреза, наибольший научный и практический интерес с точки зрения поисково-разведочных работ представляют интервалы фундамента. На Быстровском вибросейсмическом полигоне (Новосибирская область) палеозойский фундамент залегает на глубине ≈10 м. Это позволило изучить его упругие свойства методами малоглубинной многоволновой сейсморазведки с использованием ВСП. Результаты этих исследований описаны в настоящей статье.

Многоволновая сейсморазведка; обработка сейсмических данных; ВСП; поляризация; азимутальная анизотропия

RESULTS OF STUDYING THE AZIMUTHAL ANISOTROPY OF THE PALEOZOIC BASEMENT WITH VSP TECHNIQUE AT THE BYSTROVKA VIBROSEISMIC TEST SITE

S.B. Gorshkalev, W.V. Karsten

*Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, Koptyug Ave., 3, Novosibirsk, 630090, Russia,
Novosibirsk State University, Pirogova Str., 1, Novosibirsk, 630090, Russia,
e-mail: GorshkalevSB@ipgg.sbras.ru*

At present due to depletion of reserves in the majority of Western Siberia oil and gas fields, with reservoirs mainly related to lower Cretaceous and Jurassic section interval, the basement intervals present primary scientific and practical interest for prospecting and exploration. At the Bystrovka vibroseismic test site (Novosibirsk region), the Paleozoic basement occurs at depth of about 10 m. This allowed investigating its elastic properties with shallow seismic technique using VSP. Results of these investigations are presented in the present paper.

Multicomponent seismic; seismic data processing; VSP; polarization; azimuthal anisotropy

ВВЕДЕНИЕ

До настоящего времени в сейсмической разведке и взрывной сейсмологии чаще всего использовали преимущественно продольные волны. По этому же типу волн были получены первоначальные данные об анизотропии упругих свойств горных пород [Урупов, 1966].

Развитие метода поперечных и обменных волн, создание основ многоволновой сейсморазведки (комплексного использования волн различных типов) дают возможность получать более полную

информацию о среде, в том числе о ее анизотропии. Как известно, по данным регистрации продольных волн не всегда удается легко различить эффекты, связанные с неоднородностью и анизотропией упругих свойств, и для этого необходима весьма подробная система наблюдений [Пузырев и др., 1985].

Из данных многокомпонентных наблюдений можно получать как кинематические (скорости), так и динамические характеристики всех типов волн, связанных с анизотропией среды. Из динамических характеристик для определения анизотропии наиболее важны параметры поляризации поперечных и обменных волн.

В анизотропной среде вдоль произвольного направления могут распространяться две квазипоперечные волны с различной поляризацией и различными скоростями. Одну из них называют быстрой (S_1), а другую медленной (S_2). При падении на границу анизотропного слоя S-волны с произвольной поляризацией происходит расщепление S-волн, которое и является признаком наличия анизотропии. Это явление известно как двойное лучепреломление. Поляризационный анализ поперечных и обменных волн позволяет разделить волны S_1 и S_2 в случае их интерференции и определить параметры их поляризации, связанные с характеристиками анизотропной среды [Crampin, Lovell, 1991].

Поляризационный анализ поперечных с целью изучения анизотропии геологического разреза был проведен при обработке данных ВСП скважины глубиной 100 м, расположенной на Быстровском вибросейсмическом полигоне.

На рисунке 1 приведен фрагмент геологической карты Новосибирской области, на котором красной стрелкой указано расположение полигона. Практически на всем побережье Новосибирского водохранилища под четвертичными отложениями залегают породы турнейского яруса нижнего карбона C_1 , представленные темно-серыми глинистыми сланцами мощностью 150–200 м, в которых встречаются прослои песчаников и линзы известняков. Залегание – согласное.

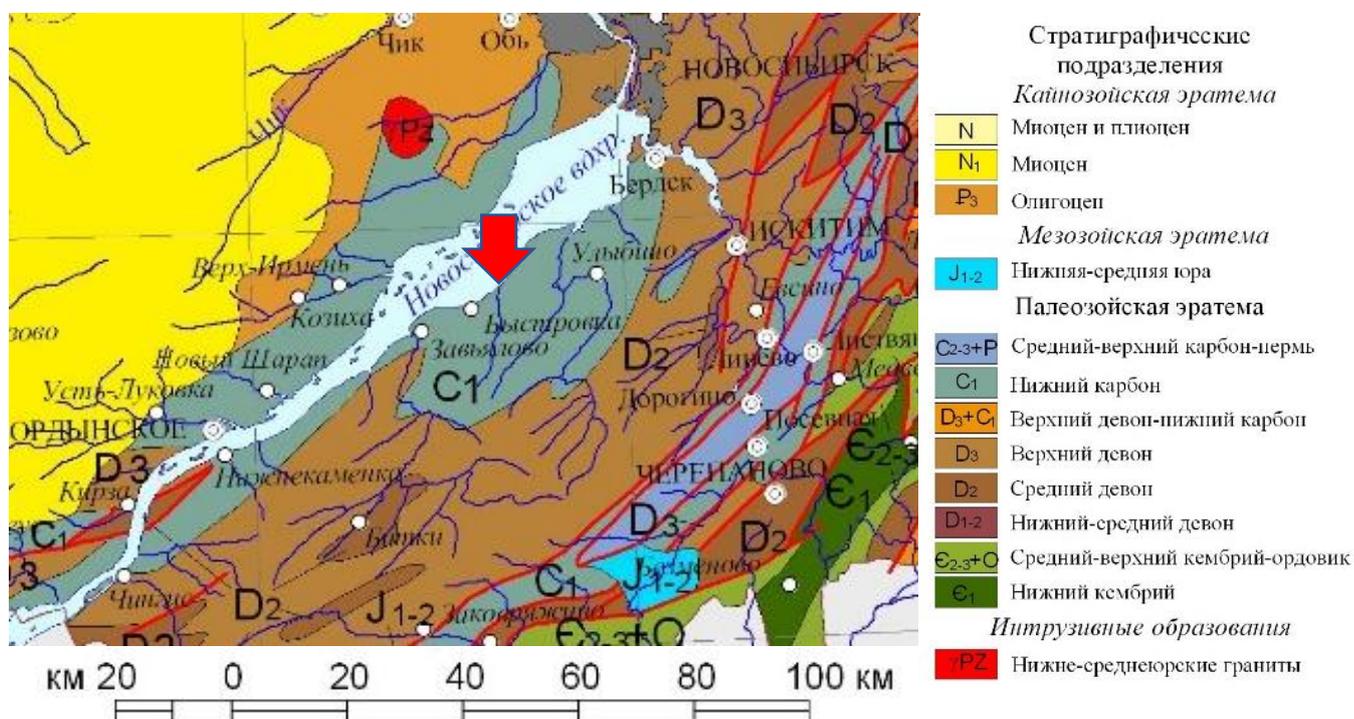


Рис. 1. Фрагмент геологической карты Новосибирской области. Красной стрелкой указано расположение полигона

МЕТОДИКА НАБЛЮДЕНИЙ ВСП

Геофизические полевые работы на скважине выполнялись с целью получения исходного материала для изучения скоростных характеристик разреза, вскрытого скважиной, изучения состава волнового поля и анизотропных свойств разреза. Наблюдения ВСП проводились с ближнего ПВ, удаленного от устья скважины на 5 м, на котором осуществлялись два взаимно ортогональных горизонтальных воздействия и одно вертикальное. Схема расположения ПВ приведена на рис. 2.

Источником колебаний поперечных волн служили горизонтальные инверсионные \pm воздействия, вертикальное воздействие по шпале применялось для возбуждения продольных волн. Две шпалы были расположены взаимно ортогонально на расстоянии 5 м от устья скважины. Шпалы были прижаты к земной поверхности грузом весом 3–4 тонны для улучшения контакта со средой. По расположению шпал была выбрана система координат, как показано на схеме (рис. 1). Горизонтальные воздействия реализовывались ударами кувалдой по разным сторонам шпалы. Стороны шпал были обозначены за «+» и «-» воздействия: «+» воздействия соответствовали положительным направлениям осей выбранной системы координат, «-» соответствовали отрицательным направлениям осей системы координат, как показано на схеме.

Полевые работы проводились с применением специального комплекта скважинной аппаратуры, включающего в себя трехкомпонентный телеметрический ориентируемый зонд с управляемым прижимом и сейсмостанцию с программным обеспечением на базе персонального компьютера [Беянин и др., 2003].

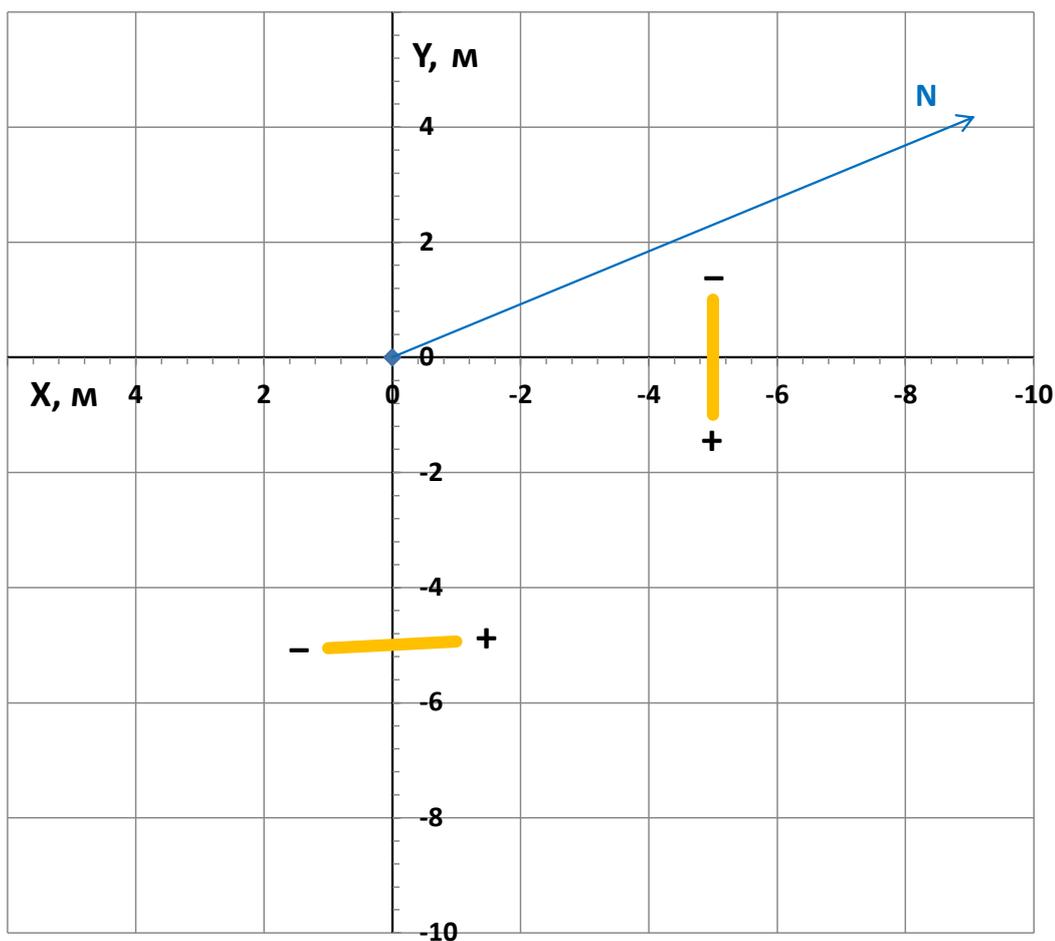


Рис. 2. Схема расположения ПВ, желтым показаны направления горизонтальных \pm воздействий, устье скважины в точке (0,0)

Шаг регистрации при наблюдениях составлял 5 м в интервале глубин 5–100 м, шаг дискретизации записи 1 мс. При наблюдениях каждое воздействие регистрировалось в ходе одной спускоподъемной операции, т. е. при неизменной ориентации приборов и условиях прижима зонда. Для нивелирования неидентичности ударных воздействий каждое воздействие повторялось 5 раз с последующим накоплением в процессе обработки.

ОПИСАНИЕ ВОЛНОВОЙ КАРТИНЫ И ОБРАБОТКА ДАННЫХ ВСП

Обработка данных проводилась с использованием обрабатывающей системы ВСП “VSPLab”, разработанной в Институте нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН [Горшкалев и др., 2009].

Первым шагом обработки было накопление повторных воздействий с целью увеличения соотношения сигнал/помеха и уменьшения влияния неидентичности ударных воздействий. Далее вводились поправки в ориентацию приборов зонда с целью приведения ее в соответствие с системой координат, изображенной на рис. 2.

Важным этапом обработки для горизонтальных воздействий является вычитание разнонаправленных \pm воздействий, которое позволяет выделить поле нисходящих поперечных волн и подавить излучаемые источником продольные волны [Лебедева и др., 1965].

Анализ волновой картины показал, что при вертикальном воздействии продольная волна регистрируется, в основном, на z-компоненте. Значимая амплитуда этой волны на горизонтальной компоненте регистрируется только до глубины 15 м.

Особенностью волновых полей при горизонтальных воздействиях оказалась высокая интенсивность «побочных» компонент поперечных волн. Такими компонентами являются X_y и Y_x , где прописным символом обозначается направление воздействия, а строчным – направление приема. Компоненты X_x и Y_y называются «основными» по той причине, что в изотропной среде именно на этих компонентах и регистрировалась бы поперечная волна.

Само по себе появление интенсивных побочных компонент поперечных волн при субвертикальных лучах является признаком наличия азимутальной анизотропии изучаемого разреза.

Для подтверждения этого факта была проведена поляризационная обработка поперечных волн. При выбранной методике наблюдений, реализованной на этой скважине, наиболее эффективным методом поляризационной обработки является способ вращения Альфорда [Alford, 1986].

Два ортогональных воздействия позволяют вычислить синтетическое воздействие с любым направлением. Разворачивая систему координат приемников синхронно с направлением воздействия, можно определить направления, при которых энергия сигнала побочных компонент станет нулевой, а основных компонент – максимальной, и, таким образом, получить сейсмограммы волн S_1 и S_2 и определить поляризацию этих волн.

РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАБОТКИ

На рисунке 3 представлены результаты этой обработки. На глубине 100 м Δt между волнами S_1 и S_2 достигает 14 мс, что составляет более полупериода их импульсов. Представленные сейсмограммы этих волн однозначно свидетельствуют о наличии азимутальной анизотропии палеозойского фундамента, представленного сланцами.

Фазовые годографы были получены и для продольной волны по компоненте Zz . Переход к годографам первых вступлений осуществлялся путем введения фазовой поправки, которая оказалась различной для продольных и поперечных волн, ввиду различия в их частотах.

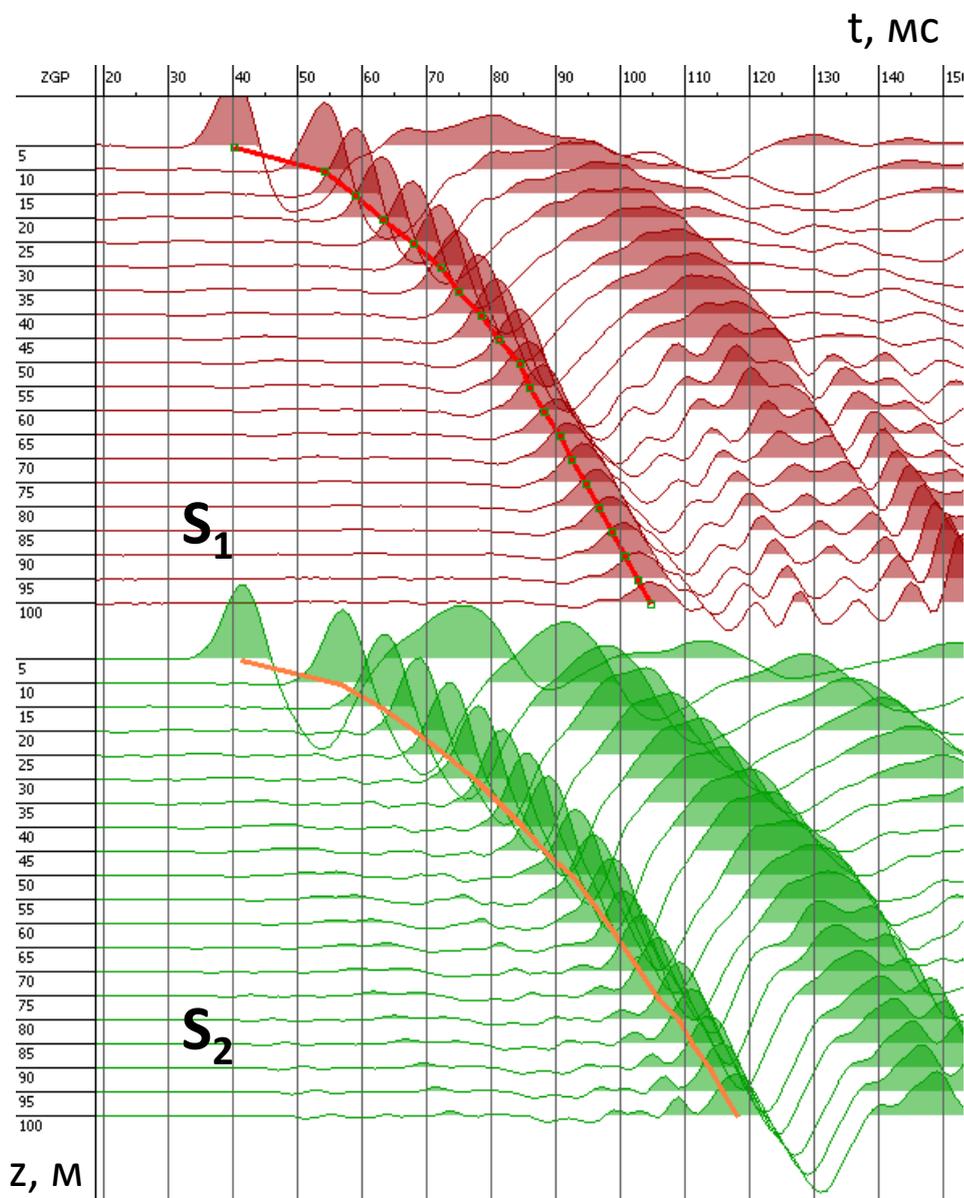


Рис. 3. Результат поляризационной обработки по способу Альфорда с разделением волн S_1 и S_2 и построением их фазовых годографов (изображены красными линиями)

СКОРОСТНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЗРЕЗА

Проведенная обработка позволила получить скоростную характеристику разреза по продольным и поперечным волнам. Пластовые скорости этих волн, а также соотношение скоростей двух поперечных волн (k) приведены на рис. 4 и в табл. 1.

Обращает на себя внимание отношение скоростей волн S_1 и S_2 (в таблице выделены красным цветом): в верхнем слое сланцев они различаются на 10 %, а в более консолидированных нижних слоях различие составляет около 20 %! Это очень существенная азимутальная анизотропия.

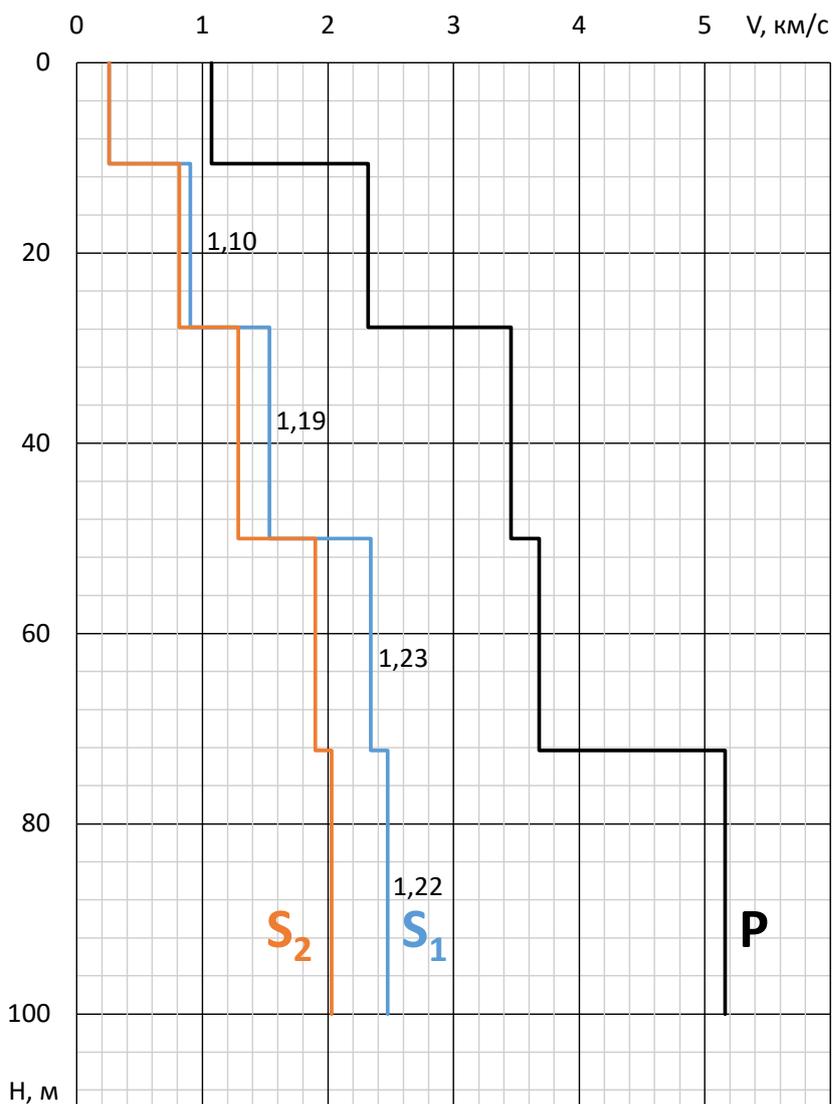


Рис. 4. Скоростная модель среды по трем типам волн. Подписано отношение скоростей $k = V_{S_1}/V_{S_2}$

Таблица 1

Скоростная модель среды по трем типам волн, построенная по данным ВСП. Жирным шрифтом выделено соотношение скоростей волн S_1 и S_2 в анизотропном интервале

| Кровля, м | Подошва, м | V_P , км/с | V_{S_1} , км/с | V_{S_2} , км/с | $k = \frac{V_{S_1}}{V_{S_2}}$ |
|-----------|------------|--------------|------------------|------------------|-------------------------------|
| 0 | 5,0 | 1,08 | 0,26 | 0,26 | 1 |
| 5,0 | 10,6 | 1,08 | 0,26 | 0,26 | 1 |
| 10,6 | 27,8 | 2,32 | 0,90 | 0,82 | 1,11 |
| 27,8 | 50,0 | 3,46 | 1,54 | 1,29 | 1,20 |
| 50,0 | 72,3 | 3,68 | 2,34 | 1,90 | 1,23 |
| 72,3 | | 5,16 | 2,47 | 2,03 | 1,22 |

Важным фактом из проведенной обработки является сохранение поляризации волн S_1 и S_2 во всей толще палеозойского фундамента, что свидетельствует о неизменном типе симметрии всех слоев, т. к. не приводит к повторному расщеплению поперечных волн на промежуточных границах. Азимут вектора смещения волны S_1 составил 185° . К сожалению, невозможно определить тип симметрии среды по скоростям и поляризации волн S_1 и S_2 , распространяющимся в одном направлении. Для этого необходима более полная система наблюдений, позволяющая получить эти параметры в широком диапазоне углов распространения волн. Однако полученные данные однозначно свидетельствуют о наличии азимутальной анизотропии палеозойского фундамента.

Скорости всех типов волн закономерно растут с увеличением глубины, что может свидетельствовать о влиянии выветривания этих пород. Что касается точности определения скоростей, то погрешности, в данном случае, не превышают 1 % от их значения, а использование линейной аппроксимации продольного годографа в рамках каждого слоя позволяет определить положение границ по точке пересечения этих линий на границе. Таким образом уточняется положение границ между точками наблюдения.

Судя по описанию керна в ближайших к полигону скважинах, верхний слой палеозойского фундамента представлен сланцами глинистыми, обводненными, черными, трещиноватыми, в одной из скважин даже разрушенными. Второй слой представляют сланцы глинистые, окварцованные, крепкие, слабо-трещиноватые. Судя по тому, что степень анизотропии растет с увеличением глубины, можно предположить, что в результате выветривания уменьшается степень ориентированности трещин, при сохранении ее преимущественного направления, поскольку поляризация волн S_1 и S_2 остается неизменной.

Положительные перепады скоростей на выделенных границах делают перспективным изучение строения данного объекта на головных P - и S -волнах, а азимутальные наблюдения на этих типах волн позволят изучить степень изменения скоростей в горизонтальных направлениях и дадут возможность сделать вывод о типе симметрии среды.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты обработки данных ВСП на Быстровском вибросейсмическом полигоне однозначно свидетельствуют о наличии существенной азимутальной анизотропии палеозойского фундамента. Получена скоростная модель по трем типам волн и выделено четыре азимутально анизотропных слоя в пределах фундамента, на границах которых изменяются значения скоростей и коэффициентов анизотропии. При этом, тип симметрии этих слоев не меняется с глубиной. Данный факт свидетельствует об эффективности метода ВСП для решения этой задачи.

Безусловно, малая глубина и использование источников типа горизонтальной силы существенно упростили решение этой задачи. Для использования подобной методики, в том случае, когда фундамент залегает на глубине, превышающей 2000 м, необходимы источники типа горизонтальной силы большой мощности, которые являются дорогостоящими и не имеют широкого распространения. Однако, как показали результаты тестирования процесса поляризационной обработки обменных PS -волн для оценки анизотропии трещиноватых коллекторов [Горшкалев и др., 2004], использование метода псевдовращений позволяет определять анизотропные параметры слоев и прогнозировать направление преимущественной трещиноватости коллектора. В этом случае отпадает необходимость в источнике поперечных волн. И для

успешного решения задачи определения параметров анизотропии необходимо правильно спланировать систему наблюдений и сгущать шаг наблюдений в целевом интервале.

ЛИТЕРАТУРА

Белянин Л.И., Голиков А.Н., Мартемьянов В.М., Плотников И.А., Лебедев К.А., Лаврухов В.Т. Способ определения ориентации сейсмоприемников и устройство для его осуществления. Патент № 2209449, заявл. 24.04.2002, опубл. 27.07.2003. – Бюл. № 21.

Горшкалев С.Б., Карстен В.В., Лебедев К.А., Тригубов А.В., Волков Г.В. Тестирование процесса поляризационной обработки обменных *PS*-волн для оценки анизотропии трещиноватых коллекторов Юрубчено-Тохомской зоны (по данным математического моделирования) // Геология и геофизика. – 2004. – Т. 45, № 3. – С. 760–773.

Горшкалев С.Б., Карстен В.В., Полухин Л.Г. Свидетельство государственной регистрации программы для ЭВМ № 2009613124 “VSPLab”, 2009.

Лебедева Г.Н., Лебедев К.А., Пузырев Н.Н. Селекция сейсмических волн по признаку поляризации для источников с горизонтальной направленностью // Методика сейсморазведки. – М.: Наука, 1965. – С. 127–135.

Пузырев Н.Н., Тригубов А.В., Бродов Л.Ю., Ведерников Г.В., Лебедев К.А. Сейсмическая разведка методом поперечных и обменных волн. – М.: Недра, 1985. – 278 с.

Урупов А.К. Изучение скоростей в сейсморазведке. – М.: Недра, 1966. – 225 с.

Alford R.M. Shear data in the presence of azimuthal anisotropy // 56th Annual International SEG Meeting: Expanded Abstracts. – Dilley, 1986. – P. 476–479.

Crampin S., Lovell J.H. A decade of shear-wave splitting in the Earth's crust: what does it mean? What use can we make of it? And what should we do next? // Geophysical Journal International. – 1991. – Vol. 107, No. 3. – P. 387–407, doi: 10.1111/j.1365-246X.1991.tb01401.x.

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

ГОРШКАЛЕВ Сергей Борисович – к.т.н., старший научный сотрудник лаборатории многоволновых сейсмических исследований ИНГГ СО РАН. Основные научные интересы: сейсмическая анизотропия, поляризационный анализ, ВСП, инверсия сейсмических данных.

КАРСТЕН Владимир Викторович – научный сотрудник лаборатории многоволновых сейсмических исследований ИНГГ СО РАН. Основные научные интересы: сейсмическая анизотропия, ВСП, инверсия сейсмических данных