

Г. А. Шехтман, ведущий геофизик,
А. П. Жуков, директор
 (ООО “Геофизические системы данных”,
 г. Москва, Россия), gregs22@rambler.ru



МЕТОДИКА ИЗУЧЕНИЯ ОКОЛОСКВАЖИННОГО ПРОСТРАНСТВА МЕТОДОМ ВЕРТИКАЛЬНОГО СЕЙСМИЧЕСКОГО ПРОФИЛИРОВАНИЯ В СЛОЖНО ПОСТРОЕННЫХ СРЕДАХ

Сложно построенные среды, характеризующиеся негоризонтальным залеганием сейсмических границ, а также присутствием тектонических нарушений, изучают различными модификациями метода ВСП: непродольным ВСП, уровнем ВСП, ВСП с подвижным источником колебаний, а также площадной модификацией метода. Эти модификации комбинируют с продольным вертикального сейсмического профилирования (ВСП), а также между собой. Каждая из них имеет свои достоинства и недостатки. Они зависят от типов применяемых источников колебаний, зондов ВСП, поверхностных и глубинных условий, конструкции скважины и др. Выбор модификации метода ВСП, являющейся оптимальной при решении конкретной задачи, определяется многими факторами. Большую помощь при этом может оказать математическое моделирование. Обработка данных ВСП, не учитывающая характер модели изучаемой среды, а также особенности применявшейся системы наблюдений и технических средств, может привести к абсурдным результатам на этапе интерпретации. Приведены примеры выделения методом ВСП реальных и ложных нарушений в различных сейсмогеологических условиях.

Ключевые слова: *сложно построенные среды, модификации метода ВСП, тектонические нарушения.*

Введение

Методика проведения работ методом ВСП в условиях сложно построенных сред, чтобы быть оптимальной, должна максимально учитывать априорную информацию о модели покрывающей толщи и типе изучаемого объекта. Кроме того, необходимо учитывать реальный интервал глубин, позволяющий получить в скважине качественные записи, свободные от помех, обусловленных отсутствием (или плохим качеством) цемента в затрубном пространстве обсадных колонн. Верхняя часть вертикального профиля с плохим качеством записей может быть весьма протяженной (до 1 км и более), поэтому при моделировании этот факт следует учитывать, чтобы не переоценить возможности запроектированной системы наблюдений.

Например, если задачей работ ВСП является локализация местоположения разломов, то для этого мало формально исходить из величины удаления ПВ, а следует учитывать интервал регистрации колебаний в скважине с гарантированным хорошим качеством записей. В противном случае работы ВСП могут быть проведены впустую.

Математическое моделирование позволяет для конкретной модели сопоставить результаты, полученные для различных модификаций метода ВСП и волн различного типа – монотипных и обменных.

Модификации метода ВСП

В современной скважинной сейсмо-разведке (методе ВСП) широко применяются одно-, двух- и трехмерные систе-

мы наблюдений (Кузнецов и др., 2013). Основные объемы работ методом ВСП проводят с использованием непродольного ВСП (НВСП), а также уровневого ВСП. Уровневое ВСП проводят, главным образом, за рубежом. ВСП с подвижным источником колебаний (ВСП-ПИ), разработанное в России (Шехтман, 1987), в дальнем зарубежье пока не применяется. Однако эта модификация в наибольшей степени подходит для изучения сложно построенных сред, особенно в тех случаях, когда априорная информация о модели является весьма скудной. При использовании ВСП-ПИ, в отличие от НВСП, благодаря меньшим углам падения волн на отражающую границу, меньше опасность выделить ложные нарушения, вызванные сменой полярности сигнала при переходе от закритических к докритическим углам падения (Шехтман, 1994; Шехтман и др., 2004). В отличие от уровневого ВСП, при ВСП-ПИ волны прослеживаются, как и при ВСП с фиксированного пункта возбуждения (ПВ), вдоль всего вертикального профиля, поэтому глубинная их привязка осуществляется более однозначно. При этом, в отличие от НВСП, участок освещенности границ, расположенных под забоем скважины, начинается непосредственно от нее (отсутствуют “штаны” на разрезах, полученных путем миграции). Существенно, что прирост информации (увеличение участков освещенности, расположенных ниже забоя скважины) при работах модификацией ВСП-ПИ не сопровождается удорожанием работ, если возбуждение колебаний осуществляют поверхностными, а не погружными источниками. Качество результатов при использовании виброисточника нередко оказывается более высоким, чем при взрывном возбуждении (Жуков и др., 2011).

К недостаткам уровневого ВСП и ВСП-ПИ относят высокую стоимость буровых работ, если применяют погружные источники, а также необходимость, в отличие от НВСП, учитывать изменение условий возбуждения и изменения свойств ВЧР при перемещении источника вдоль

земной поверхности. Эти же недостатки в полной мере свойственны любым модификациям наземной сейсморазведки. Но, в отличие от наземной сейсморазведки, учет статических поправок в методе ВСП облегчается в связи с возможностью использовать для этой цели проходящие волны (Шехтман, Попов, 2007).

Рассмотрим пример, полученный путем математического моделирования на рифоподобном объекте с целью сопоставления возможностей различных модификаций метода ВСП (Шехтман, Череповский, 2008).

Шаг между точками приема в скважине при моделировании был принят равным 10 м. Для расчетов синтетических сейсмограмм при лучевом моделировании модификацией НВСП было задано 10 пунктов взрыва (ПВ), по 5 с каждой стороны скважины с шагом 500 м. Система наблюдений модификацией ВСП-ПИ состояла в следующем. Трехточечный зонд с шагом 10 м между соседними приборами зонда перемещался с шагом 30 м с глубины верхнего прибора зонда, равной 2400 м, до земной поверхности. Источник колебаний перемещался в направлении влево и вправо от скважины с шагом 30 м, начиная с выноса 100 м и заканчивая удалением 2500 м.

Присутствие рифа в разрезе проявляется в аномальном поведении осей синфазности отраженных волн над рифом: регистрируемые на больших временах отражения отличаются более высокими кажущимися скоростями по сравнению с отражениями от вышележащих границ. Сложная форма поверхности рифа проявляется в том, что оси синфазности отражений от его кровли приобретают фрагментарный характер. Высокое значение кажущейся скорости отражений от кровли рифа обусловлено тем, что углы подхода отраженных волн к вертикальному профилю могут приближаться к горизонтали. Это приводит также и к тому, что интенсивность отражений от кровли рифа становится соизмеримой на обеих компонентах – вертикальной и горизонтальной, причем для волн обоих типов. Трассирование сейсмических лучей

наглядно иллюстрирует наблюдаемые особенности волновых полей (рис. 1). Так, при положении пункта возбуждения (ПВ) слева от скважины, в направлении подъема кровли рифа, точки отражения расположены в том же направлении от скважины. Однако при положении ПВ справа от скважины, в направлении падения кровли рифа, точки отражения расположены по разные стороны от скважины. Ясно, что это приводит к большей дисперсии времен прихода волн и амплитуд на соответствующих исходных записях и, тем более, на изображениях среды, поскольку истинное положение точек отражения при миграции неизвестно.

На разрезах НВСП, полученных на продольных отраженных волнах (рис. 2),

поверхность рифа отображается в виде кулисообразно расположенных участков, соответствующих фрагментарным участкам осей синфазности отражений от рифа, наблюдаемых на сейсмограммах НВСП. Кроме того, наблюдаются субгоризонтальные участки отражающих границ, расположенных внутри рифа, а также фрагменты его подошвы. Непрерывному прослеживанию подошвы рифа препятствует рассеяние волн сложной построенной поверхностью рифа. На обменных отраженных волнах (рис. 3) кровля рифа вместе с прилегающей к нему границей, расположенной в вышележащих отложениях, а также подошва рифа прослеживаются более уверенно, чем на продольных волнах. Объясняется это более высокой

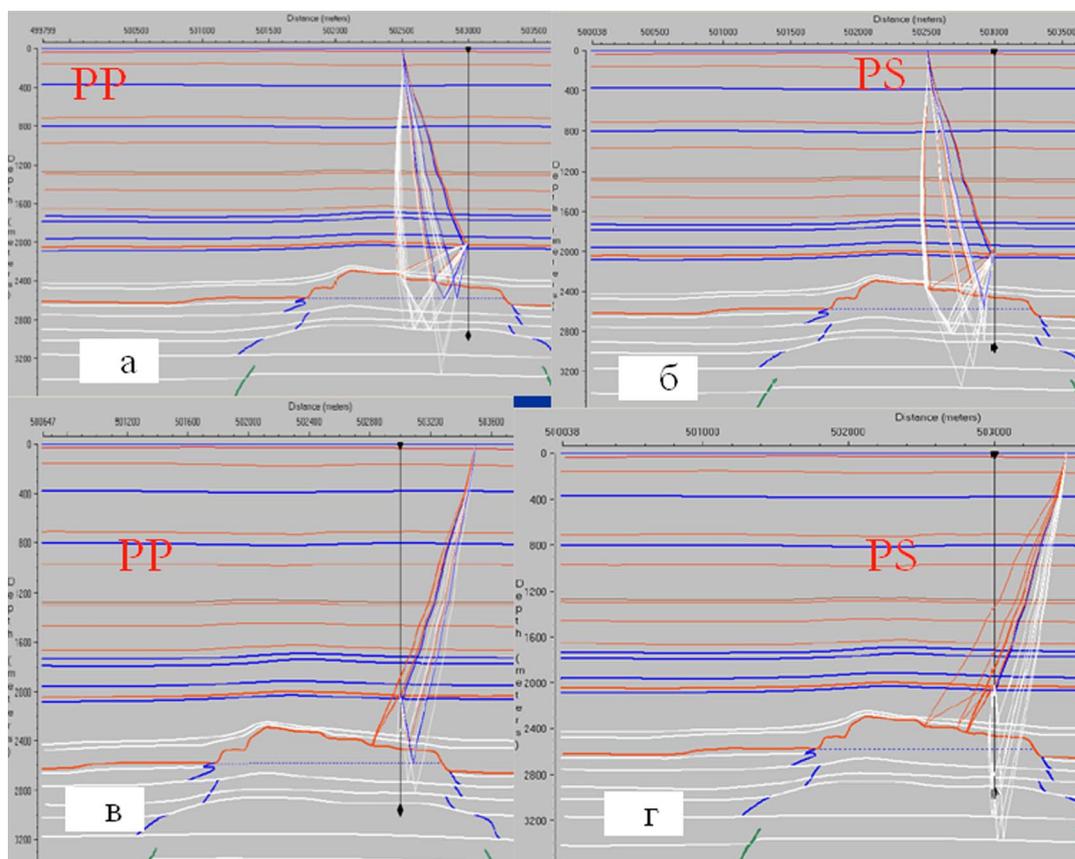


Рис. 1. Лучевые схемы продольных *PP*- и обменных отраженных *PS*-волн для рифа: *а* и *б* – для ПВ, расположенного слева от скважины в направлении подъема кровли рифа; *в* и *г* – для ПВ, расположенного справа от скважины в направлении падения кровли рифа

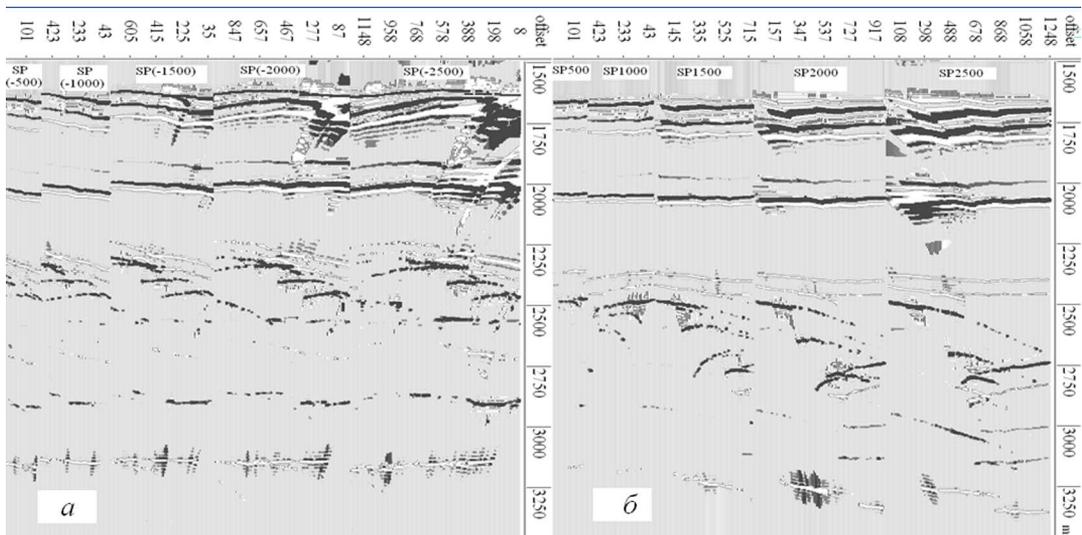


Рис. 2. Глубинные разрезы НВСП на продольных отраженных волнах, полученные путем миграции записей с ПВ, расположенных слева (а) и справа (б) от скважины

плотностью точек отражений на обменных отраженных волнах. Разрезы ВСП-ПИ на продольных и обменных отраженных волнах (рис. 4) отличаются хорошей стыковкой между собой обеих частей, полученных при перемещении источника влево и вправо от скважины. Поверхность рифа, прилегающих к нему границ, границ

внутри него, а также подошва рифа отображаются достаточно уверенно. Кроме того, отчетливо прослеживаются глубокие границы, расположенные справа от рифа. Прослеживание их прекращается в области контакта с правой стенкой рифа. Сопоставление с глубинными разрезами НВСП свидетельствует в пользу более

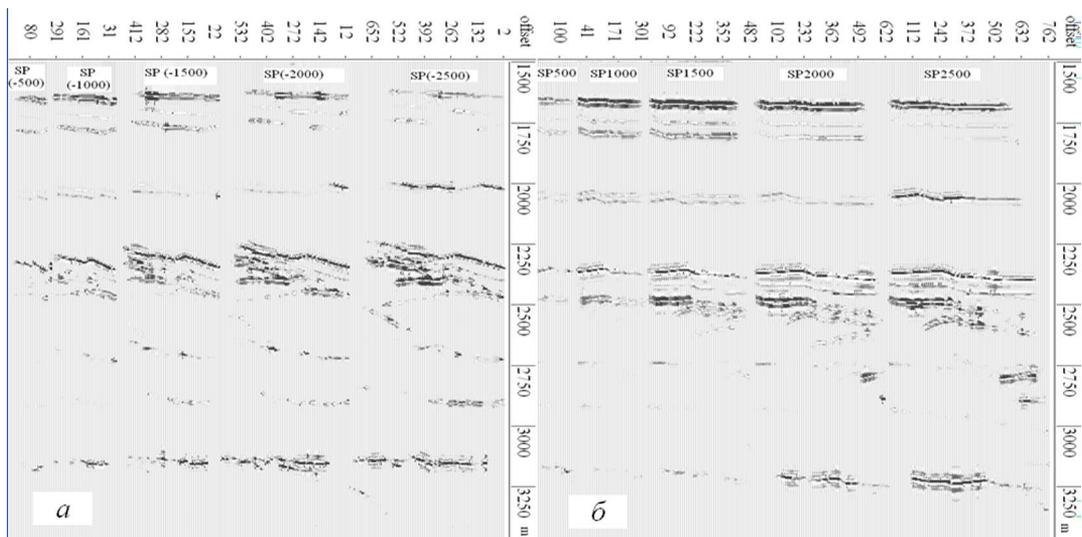


Рис. 3. Глубинные разрезы НВСП на обменных отраженных волнах, полученные путем миграции записей с ПВ, расположенных слева (а) и справа (б) от скважины

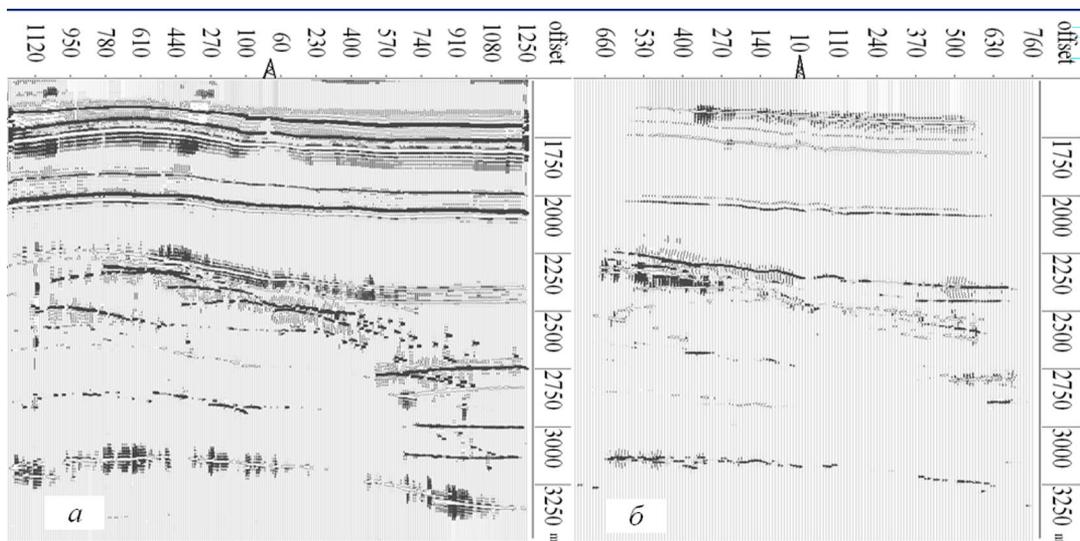


Рис. 4. Глубинные разрезы ВСП-ПИ на продольных (а) и обменных (б) отраженных волнах

достоверного изображения рифа и окружающих его пород при наблюдениях модификацией ВСП-ПИ.

“Подводные камни” при выделении тектонических нарушений и изучении структуры околоскважинного пространства

Вопрос о достоверности выделенных тектонических нарушений является одним из основных при изучении сложно построенных сред. На этапе интерпретации приходится учитывать “подводные камни”, возникшие еще на этапе проведения работ и при обработке полученных записей. Гарантией от промахов является при этом обратная связь между всеми этапами выполнения работ, с возвращением от этапа интерпретации к начальным стадиям обработки, на которых могут зародиться будущие “открытия”.

Рассмотрим пример глубинных разрезов НВСП с вполне правдоподобными “разломами”, выделенными в нижней части покрывающей толщи. Анализ исходных записей при этом показал (рис. 5), что причиной временного сдвига в записях отраженных волн, обусловившего формирование “разлома” при последующей миграции, была смена источника колебаний в про-

цессе проведения работ, которая привела к резкому изменению формы возбуждаемого сигнала. Применение деконволюции позволило скомпенсировать изменение формы сигнала и тем самым исключить формирование ложного разлома.

Негоризонтальное залегание сейсмических границ, характерное для сложно построенных сред, создает большие трудности при определении модели сейсмических скоростей и миграции записей ВСП. Традиционная стандартная обработка данных ВСП с использованием горизонтально-слоистой модели приводит в таких случаях к абсурдным результатам, несопоставимым для моделей, полученных из различных ПВ (Шехтман, 2011). В таких случаях единственно возможным подходом к решению обратной кинематической задачи является оптимизационный подход, позволяющий одновременно определять пластовые скорости и геометрию границ.

Существенное искривление скважин вносит дополнительные трудности в изучение сложно построенных наклонно-слоистых сред. При миграции записей, полученных в таких условиях, приходится учитывать тот факт, что линии биниро-

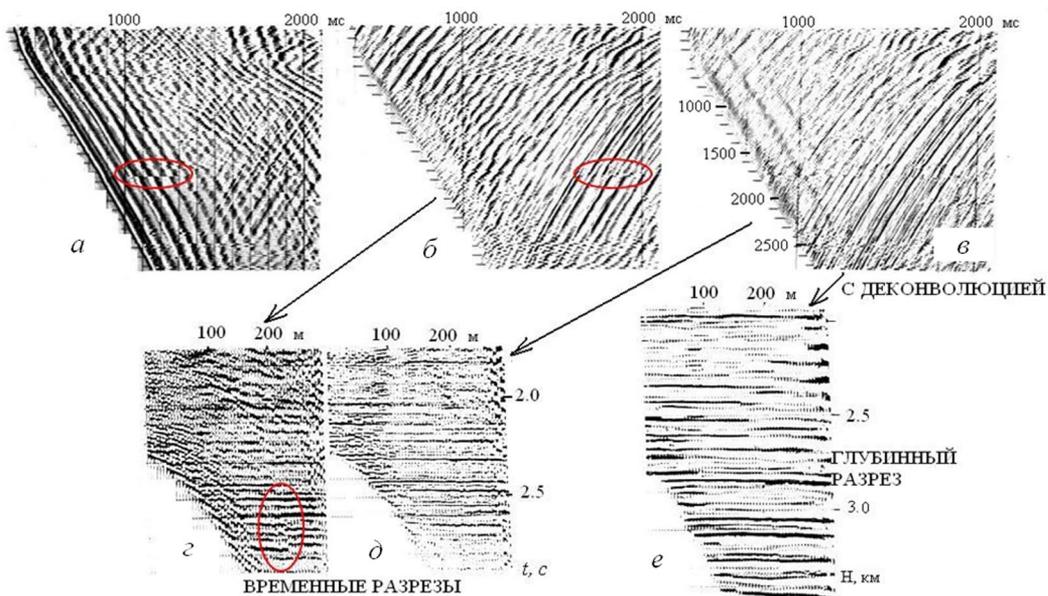


Рис. 5. Пример формирования ложного тектонического нарушения в результате изменения условий возбуждения колебаний:

a – исходная сейсмограмма ВСП, эллипсом показан интервал со сменой формы сигнала в последующих вступлениях; *б* – результат выделения восходящих волн, эллипсом показан интервал с нарушением корреляции отраженных волн; *в* – восходящие волны после деконволюции по цугу падающих волн; *г* – временной разрез по исходной записи (эллипсом показаны ложные нарушения); *д* – временной разрез после деконволюции; *е* – глубинный разрез после деконволюции

вания и местоположения тектонических нарушений будут существенно отличаться от направлений скважина-ПВ. Предварительный выбор положений ПВ, обеспечивающих освещение отраженными волнами направлений, представляющих разведочный интерес, позволяет сделать более обоснованные выводы.

На рис. 6 приведен пример существенного расхождения направлений линий скважина-ПВ и линий бинирования при проведении НВСП и ВСП-ПИ на одном из месторождений, расположенных в Припятской впадине (Шехтман и др., 2013). На этом участке целевые отражения на исходных сейсмограммах ВСП-ПИ и глубинных разрезах, полученных путем миграции, прослеживаются более уверенно и отличаются более высокой разрешенностью, чем на сейсмограммах и разрезах НВСП (рис. 7). ВСП-ПИ подтвердило достоверность результатов наземной сейс-

моразведки и обеспечило улучшение прослеживания целевых горизонтов (рис. 8).

Пространственная система наблюдений позволяет уточнить местоположение и определить направление линии тектонического нарушения. На рис. 9 приведены разрезы ВСП-ПИ, полученные на одном из участков в Казахстане. На двух из трех профилей ВСП-ПИ, расположенных в различных азимутах через 120°, отчетливо выделяется приподнятый блок. Третий из отработанных профилей этот блок не пересекает.

Наиболее детальную информацию о структуре околоскважинного пространства в условиях сложно построенных сред можно получить, используя площадную модификацию метода ВСП (Шехтман, 1996). Однако в СНГ эта модификация в настоящее время не применяется из-за высокой стоимости работ и их большой продолжительности.

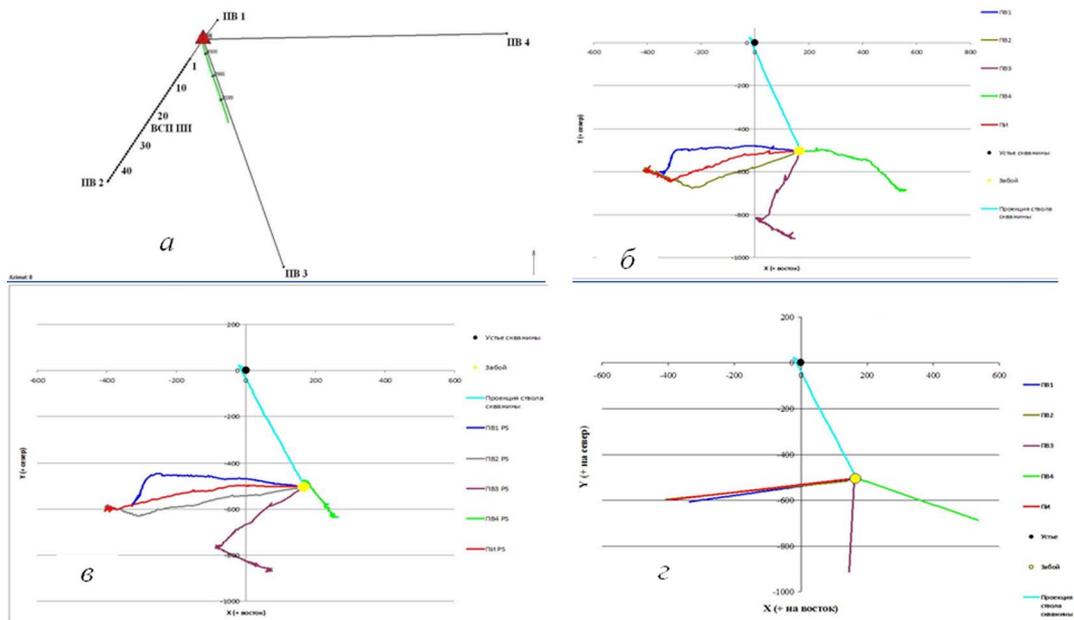


Рис. 6. Влияние наклона отражающей границы и искривления скважины на конфигурацию проекции линии точек отражения на земную поверхность:

a – система наблюдений (в плане), зеленым цветом показана проекция ствола скважины на земную поверхность; *б* – конфигурация линии точек отражения на продольных отраженных волнах для разных ПВ; *в* – конфигурация линии точек отражения на обменных отраженных волнах для разных ПВ; *г* – линии бинирования для разных ПВ

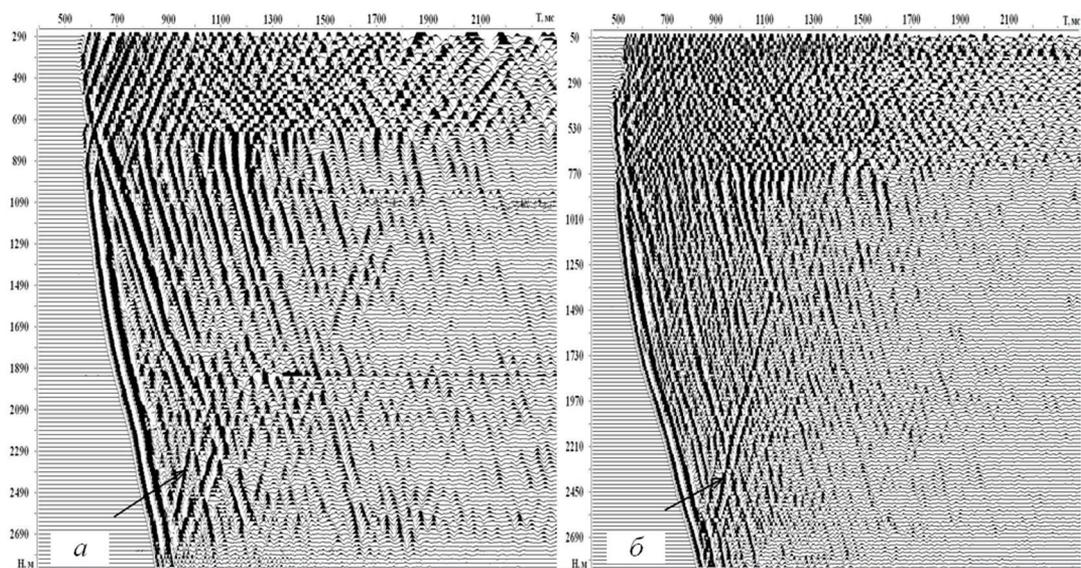


Рис. 7. Сопоставление сейсмограмм НВСП (*a*) и ВСП-ПИ (*б*), z-компонента
Стрелкой показано целевое отражение, более уверенно прослеживающееся при ВСП-ПИ

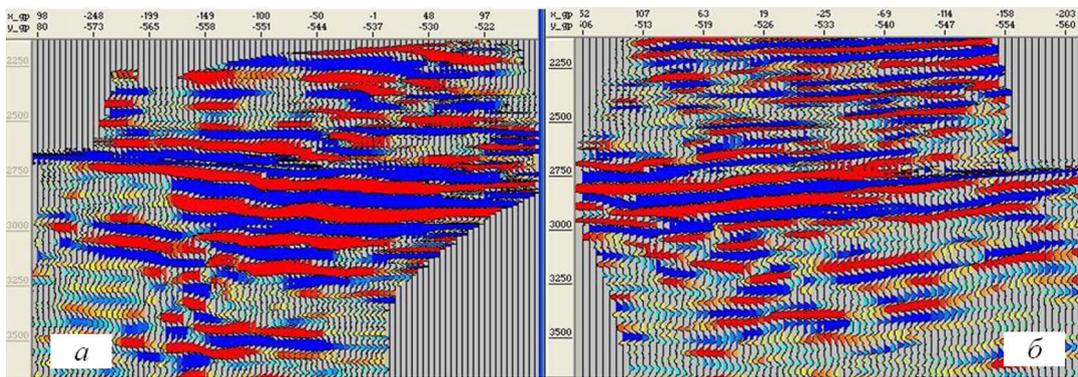


Рис. 8. Сопоставление глубинных разрезов на продольных отраженных волнах, полученных путем миграции записей НВП (а) и ВСП-ПИИ (б)

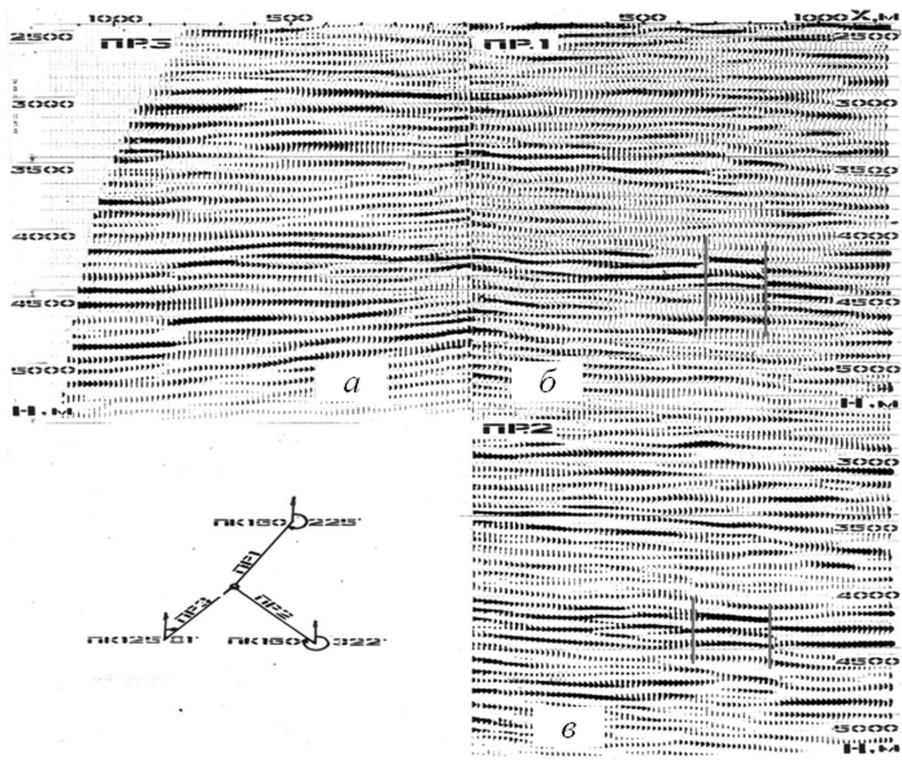


Рис. 9. Глубинные разрезы ВСП-ПИИ, полученные по профилям 3 (а), 1 (б) и 2 (в)

Выводы

1. Методика изучения структуры околоскважинного пространства модификация метода ВСП должна опираться на априорную информацию о модели среды, знание конструкции исследуемой сква-

жины, а также достоинств и недостатков каждой из модификаций метода.

2. В средах с негоризонтальными границами раздельное определение модели сейсмических скоростей и геометрии границ может привести к абсурдным ре-

зультатам. Более предпочтительно одновременно определять геометрию границ и скорости, используя для этого методы оптимизации.

3. В сложно построенных средах со скудной априорной информацией предпочтительнее использовать модификацию ВСП-ПИ, а не НВСП.

4. Выделение тектонических нарушений на этапе интерпретации должно сопровождаться дополнительным анализом исходных данных, а при необходимости – повторной их обработкой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Жуков А. П., Колесов С. В., Шехтман Г. А., Шнейерсон М. Б. Сейсморазведка с вибрационными источниками//Тверь: ООО “Издательство ГЕРС”; 2011. 412 с.

2. Кузнецов В. М., Шехтман Г. А., Череповский А. В. Методика наблюдений в многоволновой сейсморазведке//Технологии сейсморазведки. 2013. № 2. С. 37–59.

3. Шехтман Г. А. Методика ВСП, ее современное состояние и перспективы развития// Прикладная геофизика. 1994. № 131. С. 252–276.

4. Шехтман Г. А. Площадная модификация метода ВСП//Геофизика. 1996. № 1. С. 23–28.

5. Шехтман Г. А. Пути повышения точности при изучении сейсмических скоростей методом вертикального сейсмического профилирования//Технологии сейсморазведки. 2011. № 2. С. 23–31.

6. Шехтман Г. А., Кузнецов В. М., Попов В. В. Модификации метода ВСП: какую предпочесть//Технологии сейсморазведки. 2004. № 1. С. 75–79.

7. Шехтман Г. А., Попов В. В. Изучение структуры околоскважинного пространства по разностным и дифференциальным вертикальным годографам//Технологии сейсморазведки. 2007. № 3. С. 39–43.

8. Шехтман Г. А., Череповский А. В. Выделение погребенного рифа различными модификациями метода ВСП по данным моделирования//Технологии сейсморазведки. 2008. № 4. С. 65–71.

9. Шехтман Г. А., Кузнецов В. М., Громыко В. М. Изучение структуры околоскважинного пространства в Припятской впадине комплексом модификаций метода ВСП//Приборы и системы разведочной геофизики. 2013. № 1. С. 83–86.

Рукопис отримано 11.10.2013.

Складно побудовані середовища, які характеризуються негоризонтальним заляганням сейсмічних меж, а також присутністю тектонічних порушень, вивчають різними модифікаціями методу ВСП: непоздовжнім ВСП, рівневим ВСП, ВСП з пересувним джерелом коливань, а також площинною модифікацією методу. Ці модифікації комбінують з поздовжнім ВСП, а також між собою. Кожна з них має свої переваги й недоліки. Вони залежать від типів застосованих джерел, зондів ВСП, поверхневих і глибинних умов, конструкції свердловини тощо. Вибір модифікації методу ВСП, яка була б оптимальною під час вирішення конкретного завдання, визначається багатьма чинниками. Значний вплив при цьому має математичне моделювання. Оброблення даних ВСП, яке не враховує характеру моделі середовища, а також особливостей застосованих систем спостережень і технічних засобів, може призвести до абсурдних результатів на етапі інтерпретації. Наведені приклади виділення методом ВСП реальних і хибних тектонічних порушень у різних сейсмогеологічних умовах.

Ключові слова: складно побудовані середовища, модифікації методу ВСП, тектонічні порушення.

Complex-constructed media, characterized by non-horizontal seismic interfaces and also by presence of faults, are studied by means of different modifications of the VSP method: offset VSP, walkaway VSP, moving source VSP and areal modification of the method. These modifications are combined with zero-offset VSP and among themselves. Each of them has its own advantages and drawbacks. They depend of the source types, VSP sonde peculiarities, surface and depth conditions,

borehole construction and so on. Choosing of the VSP modification, which would be optimal at deciding of the specific problem, is determined by many factors. Dramatic assistance in doing this may give using of the mathematic modeling. Processing of the VSP data without taking into account the features of the model under study and also of peculiarities of used acquisition system and technical means may lead to absurd results at the interpretation stage. Examples are given which illustrate delineating of real and false faults at different seismic-geological conditions.

Keywords: complex-constructed media, VSP method modifications, faulting.