

**ФОКУСИРУЮЩИЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СЕЙСМИЧЕСКИХ ДАННЫХ  
ДЛЯ ПЛОЩАДНЫХ СТАЦИОНАРНЫХ СИСТЕМ**

**В.А. Поздняков, В.А. Чеверда\***

*Красноярскгеофизика, 660022, Красноярск, ул. Партизана Железняка, 21в, Россия  
\* Институт геофизики СО РАН, 630090, Новосибирск, просп. Коптюга, 3, Россия*

Предложен подход к построению изображений трехмерных геологических объектов по сейсмическим данным, полученным на площадных системах возбуждения и регистрации волн. Предлагаемый метод ориентирован на выделение объектов, порождающих рассеянные и(или) дифрагированные волновые поля. Его работоспособность продемонстрирована на картировании трехмерного распределения зон разрушений внутри консолидированного гранитного блока, залегающего на небольших глубинах.

*Рассеянные волны, фокусирующее преобразование, селективное изображение, консолидированный объект, зоны разлома.*

**FOCUSING TRANSFORMATION OF ARRAY SEISMIC DATA**

**V.A. Pozdnyakov and V.A. Cheverda**

The focusing transformation approach is applied to array seismic data to detect scatterers and/or diffractors in wavefields in 3D imaging of complexly structured subsurface. The efficiency of the method is tested in 3D imaging of failure in a consolidated granite intrusion.

*Scattered waves, focusing transformation, selective image, consolidated block, faults*

**ВВЕДЕНИЕ**

Рассматривается метод картирования трехмерных нарушений строения геологических объектов, расположенных в неоднородной вмещающей среде. Индикатором наличия таких нарушений является возникновение поля рассеянных или дифрагированных волн, порожденных присутствующими в них мелкомасштабными неоднородностями и разрывами регулярных границ раздела. Интенсивность таких волн весьма мала, что делает необходимым проведение специальной предварительной обработки, основы которой были заложены в серии работ [1—5], выполненных коллективом сотрудников Грозненского нефтяного института. Именно в этих работах были впервые описаны принципы получения отдельных, по отраженным и рассеянным или дифрагированным волнам, изображений среды с использованием двумерных и трехмерных фокусирующих преобразований и принципов сейсмолокации бокового обзора.

Построение сейсмических изображений, ориентированное на использование рассеянных и дифрагированных волн в последнее время переживает бурное развитие, о чем свидетельствует регулярное появление публикаций на эту тему [6—12]. Практически все предлагаемые подходы к решению этой задачи основаны на использовании различия в пространственном поведении отраженных и рассеянных волн: в то время как рассеянные волны „поднимаются“ внутри некоторого конуса с вершиной в точке рассеяния, у отраженных волн возникает только один луч в точке отражения. Первым шагом в этом направлении является выделение рассеянной компоненты волнового поля на фоне интенсивных регулярных волн. Таким образом, для выделения рассеянной компоненты естественно пытаться применять взвешенное суммирование с тем, чтобы максимально подавить регулярные отражения, оставив „окна“, в которых бы рассеянная компонента имела достаточно высокую интенсивность. Реализации такого подхода посвящены, например, работы [4, 10, 11, 13—17], отличающиеся друг от друга организацией упомянутого взвешенного суммирования.

В настоящей работе предлагается трехмерная реализация изложенного и детально проанализированного для двумерного случая в работе [17] метода построения изображения в рассеянных волнах, названного „фокусирующим преобразованием“. Основные теоретические аспекты этого преобразования не претерпевают изменения при переходе от профильных к площадным системам наблюдения, поэтому ниже мы в основном сосредоточимся на вопросах геологического характера и обсуждении полученных результатов.

© В.А. Поздняков, В.А. Чеверда, 2005

## ТРЕХМЕРНЫЕ ФОКУСИРУЮЩИЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ: ОПРЕДЕЛЕНИЯ И РАЗРЕШАЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ

Прежде чем ввести трехмерное фокусирующее преобразование, напомним его двумерную реализацию для профильных систем многократного перекрытия, подробно описанную в работе [17]. Для этого введем системы источников  $I$  и приемников  $J$  (рис. 1) и ось симметрии, соответствующую этим системам. Элементарное селективное изображение (фокусирующее преобразование) есть взвешенная сумма трасс для фиксированной системы источники—приемники, отнесенная на вертикальную прямую, проходящую на расстоянии  $q$  (сейсмический снос) от оси симметрии интерференционной системы (см. рис. 1):

$$R(q, t_V) = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J K_{ij}(q, t_V) u_{ij}(t_V + P(x_i, x_j, V, t_V, q))^*, \quad (1)$$

где  $u_{ij}(t)$  — волновое поле, возбужденное  $i$ -м источником и зарегистрированное  $j$ -м приемником в момент времени  $t$ ;  $P(x_i, x_j, V, t_V, q)$  — кинематическая поправка, рассчитываемая для фиксированного скоростного закона  $V(x, z)$  и обеспечивающая синфазное суммирование дифрагированных или рассеянных волн;  $K_{ij}(q, t_V)$  — весовые коэффициенты суммирования для конкретной фокусирующей интерференционной системы, обеспечивающие получение изображений в „истинных“ амплитудах.

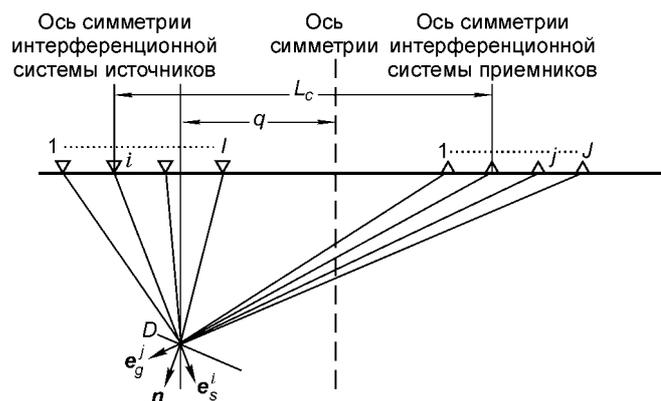
Интенсивность получаемого изображения пропорциональна „яркости“ рассеивающего объекта  $S$  (интенсивность изображения равна нулю, если в данной точке нет дифрагирующего или рассеивающего объекта). Таким образом, каждое элементарное селективное изображение есть вертикальная линия с некоторым распределением интенсивности на ней. При использовании данных, полученных по методике многократных перекрытий, перемещая выбранную систему источников/приемников вдоль профиля, можно получить селективное изображение (селективный разрез) для фиксированного значения параметра  $q$ . Как нетрудно понять [17], при фиксированном значении параметра  $q$  на селективном изображении будут представлены только лишь наклоненные соответствующим образом элементы разреза. В частности, при  $q = 0$  — это горизонтальные отражающие площадки, при  $q < 0$  — с заглубленным левым концом, при  $q > 0$  — правым. Очевидно, что такие объекты, как трещины, зоны разлома, сбросы и т. п., будут представлены на всех селективных разрезах, так как они порождают рассеянные волны с приблизительно круговой индикатрисой.

Трехмерное фокусирующее преобразование сейсмических данных для площадных систем наблюдения вводится совершенно аналогично двумерному случаю

$$R(q_x, q_y, t_v) = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J K(q_x, q_y, t_{ij}) u_{ij}(t_v + P(x_i, x_j, V, t_v, q_x, q_y)) \quad (2)$$

и представляет собой взвешенную сумму сеймотрасс, возбужденных группой источников и зарегистрированных на группе приемников, приписанную к вертикальному времени  $t_v$  на вертикальной прямой, сдвинутой на вектор сейсмического сноса  $\mathbf{q} = (q_x, q_y)$  относительно оси симметрии интерференционной системы источники—приемники. Такое преобразование можно выполнять как с данными, полученными по методике многократных перекрытий, так и в случае применения неподвижных (стационарных) систем регистрации, т. е. систем, в которых для каждого источника используются все приемники.

В настоящей работе будут рассмотрены именно такие системы возбуждения и регист-



**Рис. 1.** Реализация фокусирующего преобразования для профильных данных многократного перекрытия.

\* Здесь и в дальнейшем иногда вместо глубины залегания дифрагирующего или рассеивающего объекта  $z_d$  будет использоваться вертикальное время  $t_V = 2z_d/V$ .

рации. Для этих систем группа источников и группа приемников являются фиксированными и не перемещаются в процессе наблюдения. Вместо этого изменяется вектор сейсмического сноса таким образом, чтобы изображение строилось бы в некоторой целевой области. Чтобы избежать влияния регулярных отражений и оставить преимущественно рассеянные или дифрагированные волны, положение системы наблюдения относительно целевой области формирования сейсмического изображения должно быть выбрано специальным образом в соответствии с принципом „локации бокового обзора“. Естественно, что разрешающая способность и информативность метода во многом определяются геометрией системы возбуждения—регистрации. Для того чтобы оценить влияние именно геометрии системы возбуждения—регистрации, рассмотрим изображение точечного объекта (рассеивающая точка), помещенного в однородную среду со скоростью распространения волн  $V$ . Анализ изображения удобнее всего производить в линейном приближении, т. е., считая, что текущая точка находится в некоторой достаточно малой окрестности истинного положения дифрактора. В этом случае поведение изображения описывается следующим соотношением:

$$R(q_x, q_y, t_v) = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J f\left[\frac{(\mathbf{e}_s^i + \mathbf{e}_g^j, \delta\mathbf{r})}{V}\right], \quad (3)$$

где  $\delta\mathbf{r}$  есть отклонение текущей точки от истинного положения рассеивающего объекта, единичные векторы  $\mathbf{e}_s^i$  и  $\mathbf{e}_g^j$  задают соответственно направления на текущий источник и текущий приемник, а функция  $f(t)$  описывает форму импульса в источнике. Заметим, что вектор  $\mathbf{n} = \mathbf{e}_s^i + \mathbf{e}_g^j$  имеет устоявшееся название в теории рассеяния — „вектор рассеяния“ (см. [18, гл. IV]). Наиболее важное и очевидное следствие из полученного представления результата фокусирующего преобразования состоит в том, что изображение будет иметь разрастание не только для  $\delta\mathbf{r} = 0$ , но и для  $\delta\mathbf{r}$  „почти“ ортогональных вектору рассеяния. В частности, если система наблюдения и регистрации является профильной, то изображение будет весьма существенно „размазано“ в направлении, ортогональном плоскости наблюдения. Как видно из полученного соотношения, максимальная разрешающая способность фокусирующего преобразования реализуется по направлениям, заполняющим конус векторов рассеяния с вершиной в текущей точке.

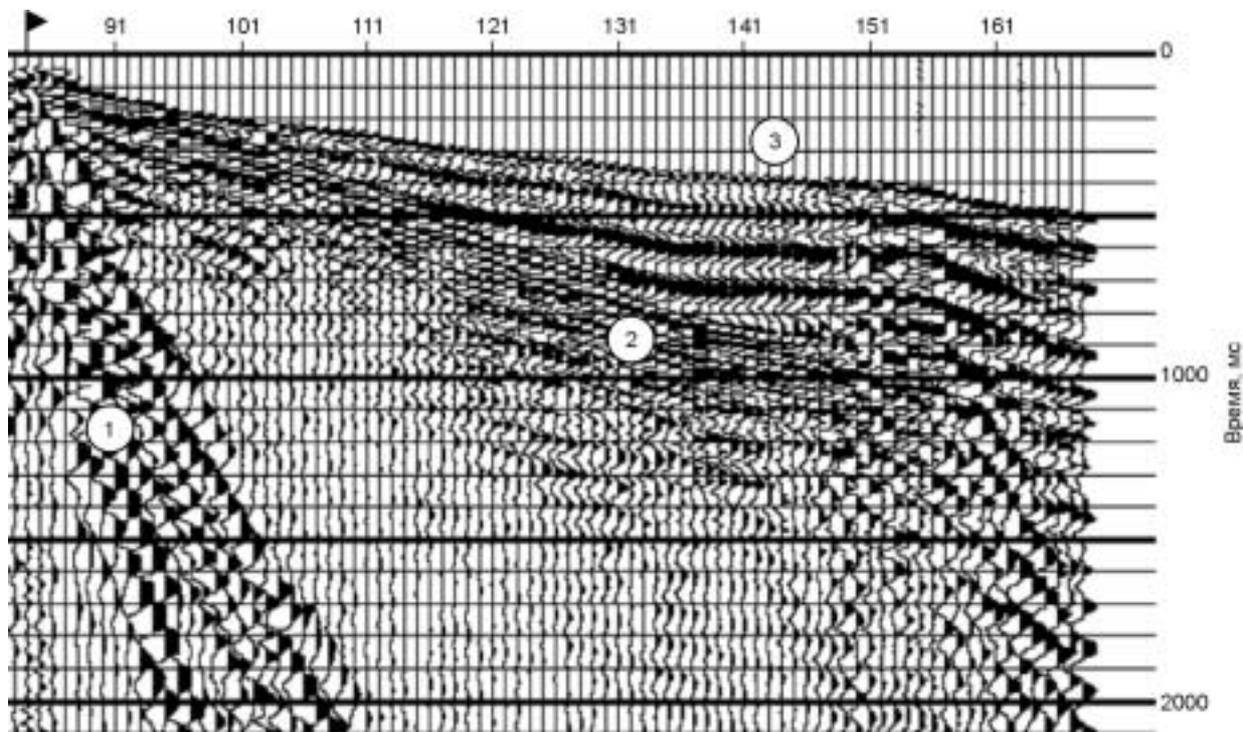
#### ОПИСАНИЕ ОСНОВНЫХ СЕЙСМОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ИЗУЧАЕМОГО ОБЪЕКТА И СИСТЕМЫ ВОЗБУЖДЕНИЯ—РЕГИСТРАЦИИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛН

Основным преимуществом предлагаемого метода является возможность его использования для картирования неоднородностей в среде, не содержащей сколько-нибудь регулярных отражающих объектов. В качестве одного из примеров его использования рассмотрим результаты обработки сейсмических волновых полей, которые были зарегистрированы в пределах Нижнеканского гранитоидного массива, расположенного в зоне сочленения Южно-Енисейского крыжа и Западно-Сибирской плиты. Одной из целей работ было выявление возможных локальных неоднородностей в строении массивного геологического объекта — погребенного гранитоида.

В первом приближении сейсмогеологическая модель исследуемого объекта представляется в виде четырех основных уровней геологического разреза: четвертичные отложения, юрские отложения, консолидированная толща гранитоидных образований и подстилающий ее метаморфический комплекс архейского возраста.

Мощность четвертичных отложений относительно невелика и меняется от первых метров до 10—25 м, однако их роль в формировании волнового поля весьма существенна. Приповерхностный слой четвертичных отложений до уровня подземных грунтовых вод находится, как правило, на глубинах не более 5—7 м, представлен сухими песками, лессовидными образованиями и обладает крайне низкими скоростями распространения продольных упругих волн (250—600 м/с). Изменение скоростей в этой части разреза по горизонтали может происходить достаточно быстро, что в совокупности с переменной мощностью приводит к существенному изменению времен прихода упругих волн. Обводненные четвертичные отложения обладают более высокими скоростями распространения упругих волн, составляющими в зависимости от степени обводнения и литологии от 800 до 1600 м/с. С верхней частью разреза четвертичных отложений связаны низкоскоростные прямые (рефрагированные) и поверхностные волны (рис. 2). Прямые волны со скоростями 300—600 м/с прослеживаются от пункта взрыва на расстояниях не более первых десятков метров и либо затухают, либо переходят в преломленно-дифрагированную волну, связанную с нижележащими геологическими формациями.

Залегающие ниже, юрские терригенные образования, представлены песчано-глинистыми разностями, имеют локальное распространение и располагаются во впадинах гранитоидного массива. Мощность этих отложений меняется от первых метров до первых сотен метров. Скорости распространения продольных волн в этой части разреза составляют в основном 2000—2600 м/с.



**Рис. 2.** Типичная волновая картина на изучаемом объекте.

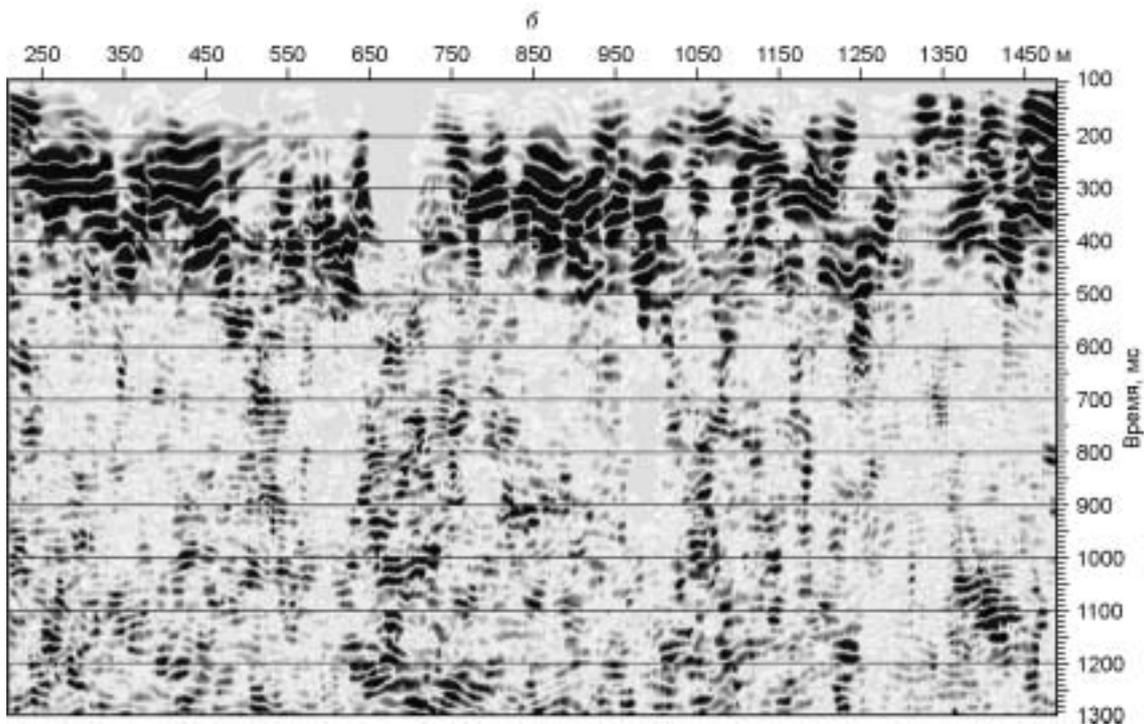
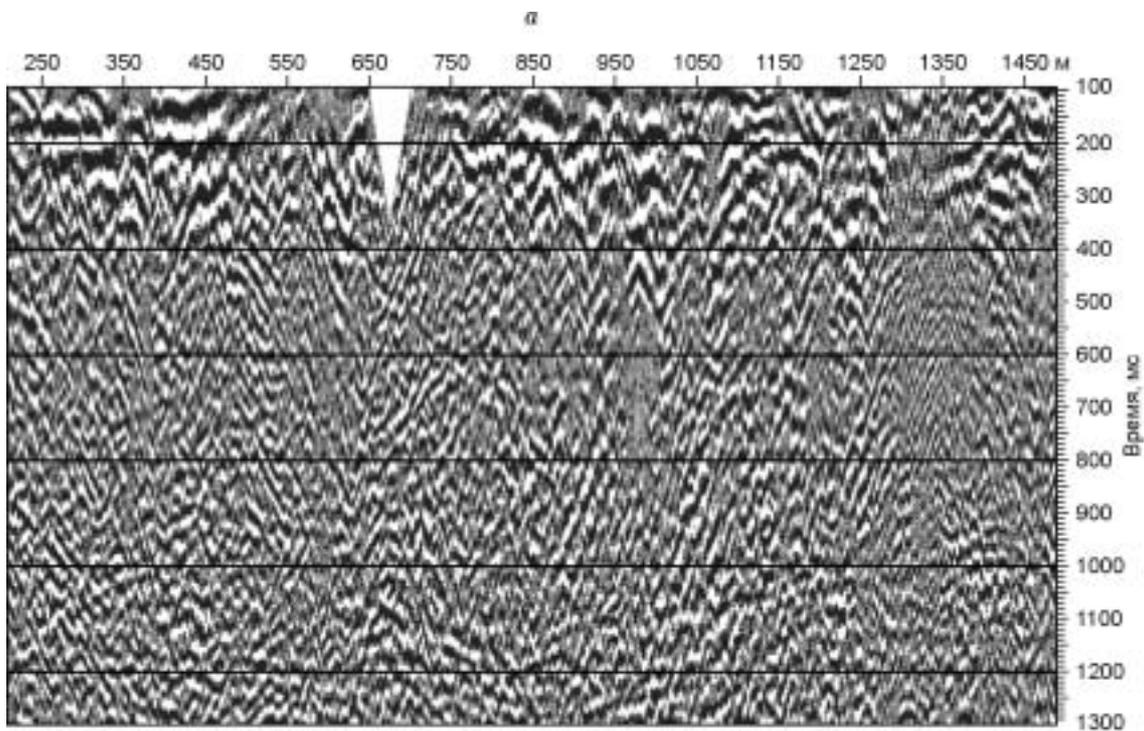
Шаг между пунктами наблюдений 25 м (горизонтальная ось). ПВ — пункт возбуждения. 1 — поверхностные волны; 2 — преломленные волны на кровле юрских отложений; 3 — преломленная волна на кровле гранитоидного массива. На волнах 2 и 3 в районе 151 пикета видно проявление дифракции.

Гранитоидные образования обладают весьма широким диапазоном изменчивости скоростей, особенно в верхней части. Граничные скорости, соответствующие кровле гранитоидов, меняются от 4600—5000 до 5500—6500 м/с. Однако в ряде случаев на ограниченных участках могут отмечаться и более низкие значения скоростей — от 3200—3500 до 4200—4600 м/с, которые, по всей видимости, соответствуют коре выветривания гранитоидных пород. Пластовые скорости архейского комплекса, по данным обработки сейсмических материалов, составляют величину 6200—6600 м/с.

В формировании волнового поля значительную роль играют преломленные и преломленно-рефрагированные волны. Здесь связанная с кровлей гранитоидного массива преломленная волна является наиболее интенсивной и прослеживается в первых вступлениях (см. рис. 2). Кажущиеся скорости этой волны изменяются в пределах от 4500—5000 до 6000—6500 м/с. С кровлей гранитоидного массива связаны также обменные преломленно-рефрагированные волны типа *PS*, *PSP* и другие. Обменные волны могут возникать как вблизи пункта взрыва за счет энергии падающей волны, так и на отдельных неоднородностях гранитоидного комплекса пород. Другим существенным фактором, влияющим на формирование волнового поля в верхней части разреза, является наличие дифрагированных волн, образующихся как за счет энергии падающей из пункта взрыва волны (первичные дифрагированные волны), так и за счет энергии других волн, в основном поверхностных и преломленно-рефрагированных (вторичные дифрагированные волны). Проявление таких волн, на наш взгляд, прослеживается на рис. 2 в районе 151-го пикета.

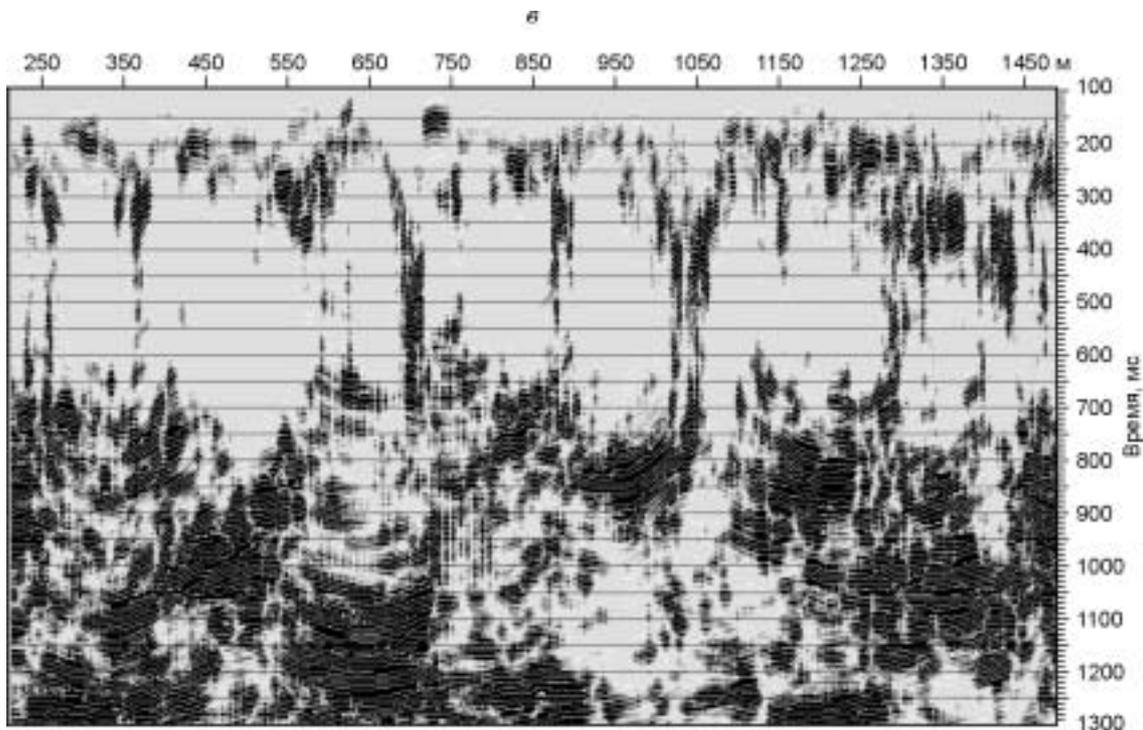
Во всех перечисленных выше комплексах пород отмечается плавное увеличение скоростей с глубиной. Одновременно с этим наблюдается существенное изменение скоростей и мощностей каждого слоя в горизонтальном направлении. Таким образом, сейсмогеологическая модель может быть представлена в целом как многослойная градиентная среда с переменными параметрами скоростей и мощностей по горизонтали в каждом слое.

Специфика применения 2D-фокусирующих преобразований для получения изображений на исследуемом объекте в зоне сочленения Южно-Енисейского кряжа и Западно-Сибирской плиты и полученные результаты подробно описаны в [17]. На рис. 3 представлены в сравнении фрагменты разрезов ОГТ (а), униполярный, с высоким усилением, разрез после применения фокусирующего преобразования (б) и энергетический разрез после фокусирующего преобразования (в). Видно, что применение процедур



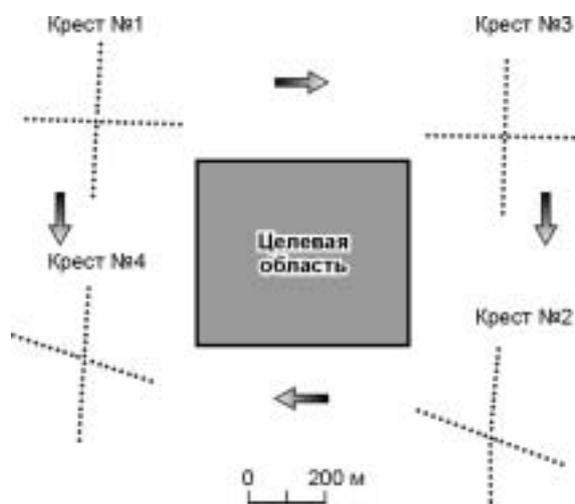
фокусирующего преобразования существенно повысило соотношение сигнал/помеха и улучшило детальность внутреннего строения гранитоида в интервале времен 300—900 мс. Заметна гораздо более высокая горизонтальная разрешающая способность фокусирующих преобразований, что позволяет уверенно трассировать разломы внутри изучаемого объекта (см. рис. 3,б). Разрез энергий после фокусирующего преобразования, нормировки и центрирования (см. рис. 3,в) еще более подчеркнул крупномасштабную дифференциацию разреза по сейсмоакустическим свойствам, отчетливо проявились „сейсмически прозрачные“ области, очевидно, связанные с консолидированными гранитными блоками.

В качестве участка для постановки экспериментальных полевых работ по изучению трехмерного строения гранитоида была выбрана площадка с размерами 1100 × 800 м. Южная граница площадки располагалась вдоль профиля в интервале 1260—1280 CDP (фрагмент профиля представлен на рис. 3).



**Рис. 3.** Изображение разреза ОГТ после кинематической обработки (а). Униполярное изображение разреза после фокусирующего преобразования (б). Изображение разреза энергий после фокусирующего преобразования (в).

Предположительно, профиль пересекает зону деструкции или крупное тектоническое нарушение. На рис. 4 приведена общая схема экспериментальных полевых площадных наблюдений с использованием стационарных интерференционных систем источников и приемников. Для оценки возможностей метода и учитывая сложное строение верхней части разреза, а именно, существенные изменения сейсмоакустических свойств на локальной площади, наблюдения проводились при различном взаимном расположении парных крестообразных систем источников и приемников. Расположение площадных систем источников и приемников было выбрано таким образом, что левые кресты располагались в пределах погруженной по кровле гранитоидных пород части разреза, а правые кресты были расположены на выступе гранитного массива. Каждый из крестов являлся одновременно геометрическим местом расположения и источников, и приемников. Возбуждение (регистрация) производилось последовательно с площадки (креста) источников для соответствующей площадки (креста) приемников как обозначено стрелками на рис. 4. Линейные размеры каждого луча источников или приемников составляли 400 м. Работы выполнялись с использованием малогабаритной сейсморазведочной станции McSEIS 1600. Учитывая предполагаемые пространственные частоты колебаний, малую глубину залегания изучаемого объекта и ограниченный динамический диапазон станции, шаг между каналами был принят равным 20 м. Прием колебаний осуществлялся одиночными приемниками СВ-10Ц. Длина записи составляла 2 с при шаге дискретизации 2 мс. Возбуждение упругих колебаний выполнялось из одиночных скважин с глубиной погружения заряда 0,9—1,0 м. Вес тротилового заряда 50 г, применялись электродетонаторы типа ЭДС. Общий объем полевых экспериментальных работ составил 164 физических наблюдения, пригодных для последующей обработки по технологии трехмерных фокусирующих преобразований.



**Рис. 4.** Геометрия системы возбуждения—регистрации.

Осевая линия деструктивной зоны тектонического нарушения находилась примерно посередине между крестами источников и приемников. Таким образом, выбранное расположение систем наблюдения позволяло надеяться на то, что по результатам обработки полученных материалов можно будет установить пространственное положение нарушения и ответить на вопрос, действительно ли выявленная форма поведения кровли гранитоидного массива обусловлена глубинным тектоническим нарушением или она определяется чисто рельефным фактором.

#### ОПИСАНИЕ ГРАФА ОБРАБОТКИ

Как уже было отмечено в предыдущем разделе, в ходе проведения экспериментальных работ были зарегистрированы четыре независимые группы сейсмограмм. Каждая площадная группа (крест источ-

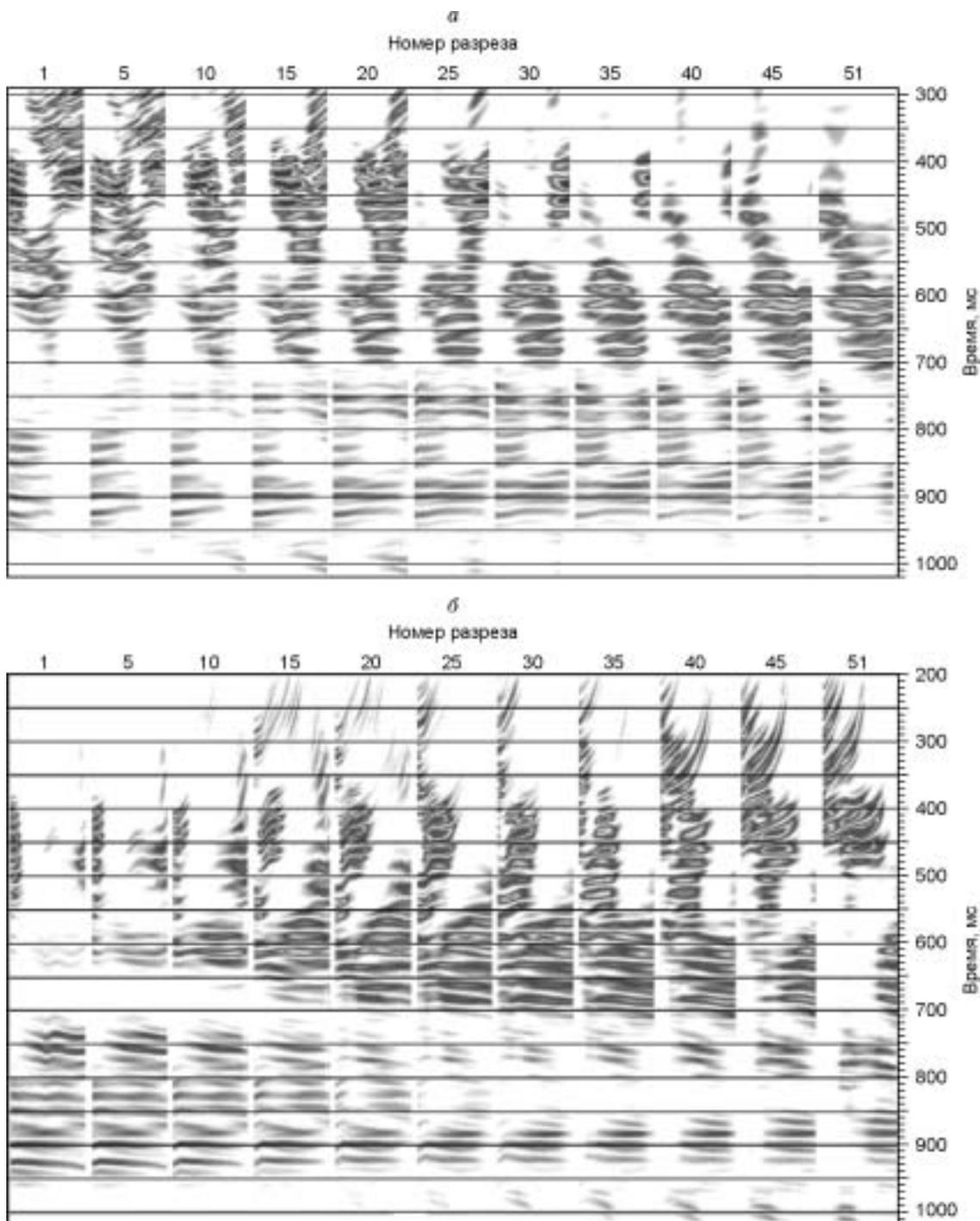


Рис. 5. Сечения куба данных, полученного для системы возбуждения—регистрации 1—4, упорядоченные с юга на север (а), с запада на восток (б).

ников — крест приемников) обрабатывалась самостоятельно. Результатом обработки для каждой из таких групп являлось изображение среды, построенное в одном и том же „кубе“. Горизонтальные размеры этого „куба“ равны  $500 \times 500$  м с постоянным горизонтальным шагом в 10 м и вертикальным временем, равным 1 с. Таким образом, результирующий массив состоял из  $51 \times 51$  трассы с длиной записи 1 с. На рис. 4 проекция формируемого куба данных на поверхность наблюдения залита серым цветом. Еще раз подчеркнем, что выбор взаимного расположения системы источники—приемники и целевой области осуществлен таким образом, чтобы в результирующих сейсмограммах не было волн, отраженных от регулярных границ раздела (принцип „локатора бокового обзора“).

Следует отметить, что ограниченность системы наблюдений не позволяла определять по полевым материалам статические поправки. В этой связи статические поправки определялись для каждого креста в отдельности путем выравнивания времен первых вступлений, т. е. по существу учитывалась только

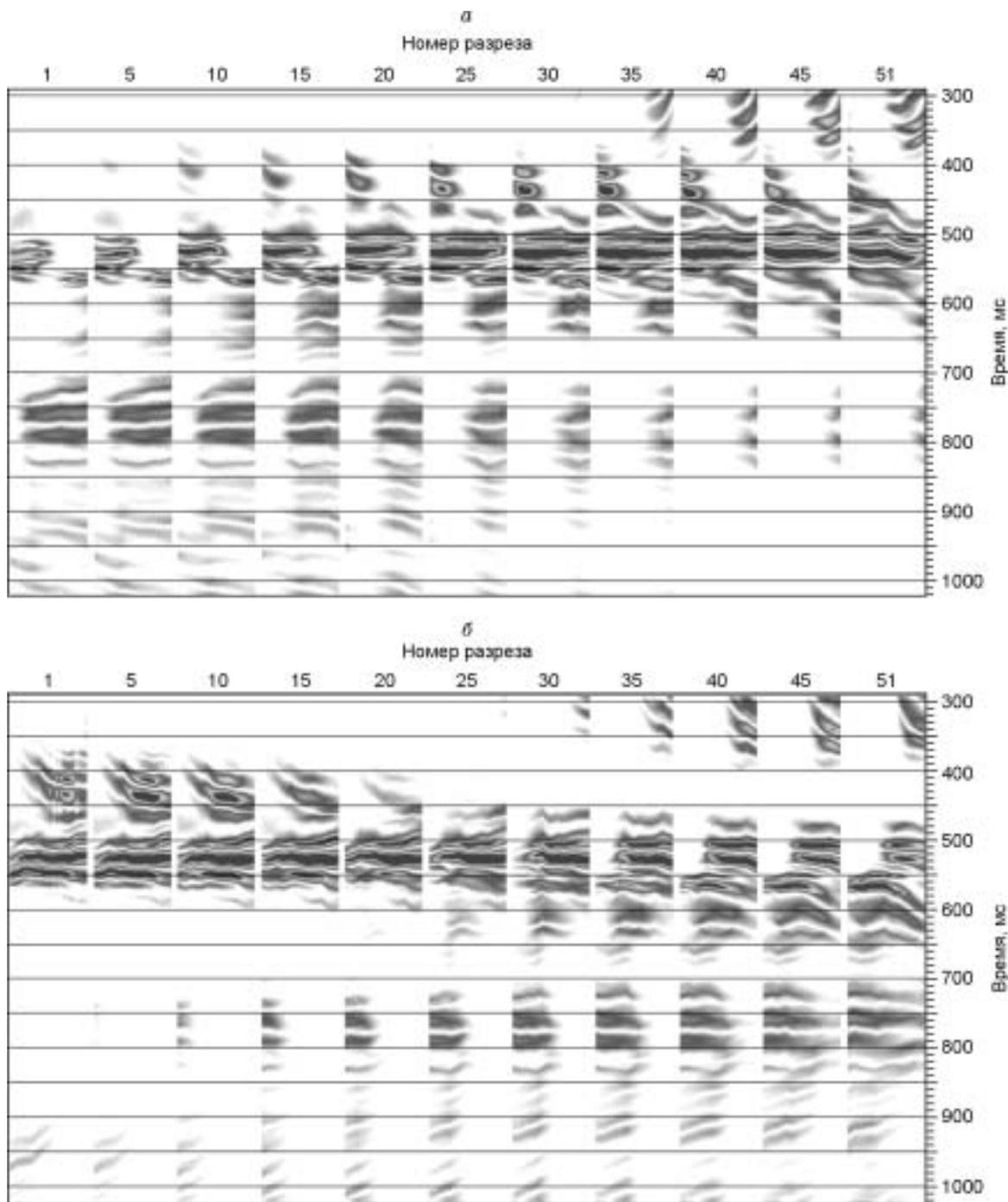
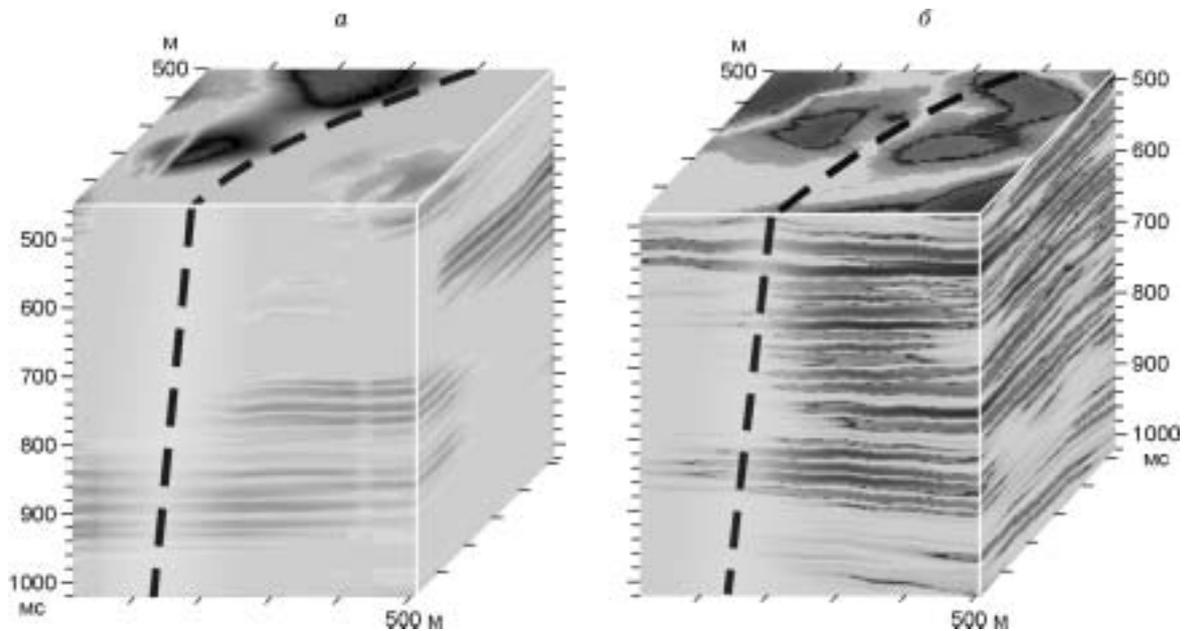


Рис. 6. То же самое, что и на рис. 5, но для системы возбуждения 1—3.



**Рис. 7. Волновые изображения кубов данных для двух пар систем возбуждения—регистрации.**

*а* — кресты 1, 3; *б* — кресты 2, 4. Штриховой линией показано направление осевой линии зоны деструкции.

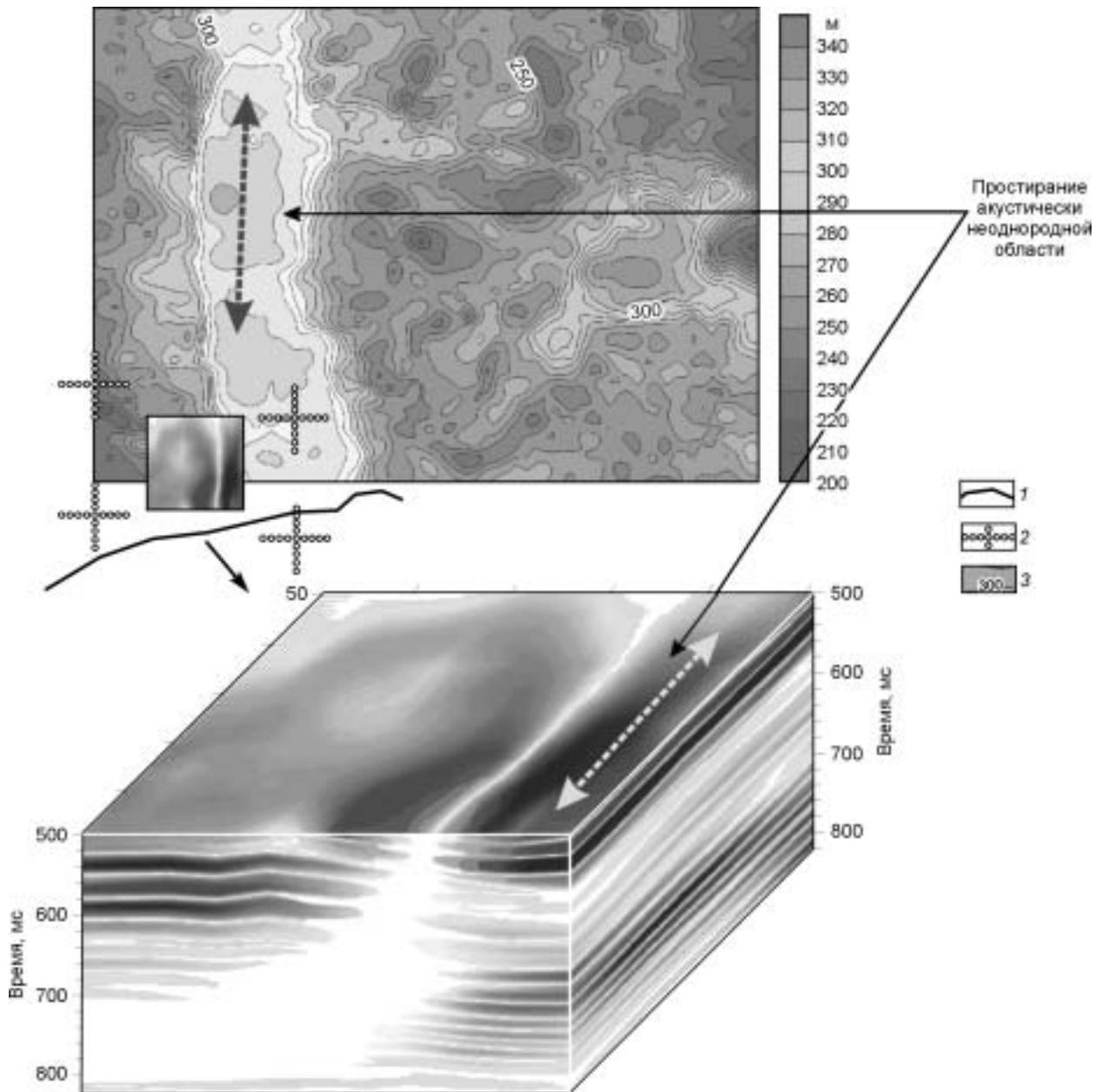
высокочастотная часть поправок. Поэтому при сопоставлении полученных результатов обработки по различным парам крестов между собой, оказались возможными угловые несоответствия горизонтальных срезов для  $t = \text{const}$ .

Чрезвычайно сложные поверхностные условия и существенно неоднородное строение верхней части разреза потребовало тщательного подбора скоростной модели среды. При обработке каждой из пар систем возбуждения—регистрации скорости подбирались в интерактивном режиме. При этом априорно заданный скоростной закон уточнялся в масштабе вертикального времени для пары вертикальных сечений куба данных. После достижения оптимальной фокусировки в заданном временном диапазоне формировалось волновое изображение для всего куба данных. В качестве критериев оптимальности скоростной модели принималась максимальная яркость и контрастность изображения рассеивающих (дифрагирующих) объектов, а также разрешающая способность в выбранном сечении.

На рис. 5,*а* представлены вертикальные сечения куба данных для первой системы возбуждения—регистрации (от креста 1 к кресту 4) с шагом 50 м, упорядоченные с юга на север. Вертикальные сечения для того же куба, упорядоченные с запада на восток, представлены на рис. 5,*б*. Видна отчетливая локализация рассеивающих (дифрагирующих) объектов как по вертикальному времени, так и по горизонтальному их положению. Это позволяет на каждом из разрезов с достаточной уверенностью провести трассирование деструктивной зоны. Возможно, это зоны повышенной трещиноватости либо разрывное нарушение. Точно такие же изображения были получены и для третьей расстановки источников и приемников (от креста источников 3 к кресту приемников 2), представленные на рис. 6,*а* (север—юг) и рис. 6,*б* (запад—восток). Зоны деструкции проявляются на трехмерных изображениях среды (рис. 7) и хорошо согласуются с двумерным сейсмическим разрезом (см. рис. 3).

Представленные на рис. 7 объемные изображения формировались двумя независимыми стационарными интерференционными системами возбуждения—регистрации. Видно, что независимые исходные данные, полученные в столь непростых поверхностных и глубинных сейсмогеологических условиях, позволяют сформировать весьма схожие, хорошо коррелируемые волновые изображения среды. Это свидетельствует об устойчивости выбранного подхода и качестве исполнения алгоритмических и программных разработок.

Помимо решения собственно технологической задачи получения трехмерного волнового изображения среды, нами была предпринята попытка решения и геологической задачи выявления пространственной ориентации разлома, предположительно проходящего через исследуемый участок. Анализируя изображения на вертикальных сечениях, представленные на рис. 6, и объемные изображения на рис. 7 (штрихами показана осевая линия зоны деструкции), можно достаточно уверенно проследить направление деструктивной зоны: преимущественно с юго-запада на северо-восток под углом к вертикали примерно в  $30^\circ$ . Весьма важно, что этот вывод не противоречит ранее полученным данным стандартной двумерной



**Рис. 8. Структурная схема по кровле гранитоидного массива на основе данных стандартной сейсморазведки и объемное изображение, полученное по технологии трехмерных фокусирующих преобразований на основе стационарных сейсмических наблюдений.**

1 — профиль 2D, 2 — пункты стационарной системы наблюдений, 3 — изогипсы кровли гранитного массива (м).

сейсморазведки. На рис. 8 представлена структурная схема по кровле массива, полученная на основе данных стандартной сейсморазведки, а также объемное изображение, полученное с использованием стационарных систем возбуждения сейсморегирующей системы по технологии 3D фокусирования. Сформированные по независимым исходным данным сейсмические изображения среды (разрезы, срезы, куб) хорошо коррелируются и увязываются. При отсутствии данных бурения можно предположить, что консолидированный блок залегает на подстилающем его метаморфическом комплексе архея.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Суммируя вышеизложенное, можно утверждать, что фокусирующие преобразования позволяют обнаруживать и „проявлять“ локальные неоднородности геологической среды. В частности, с их помощью удалось не только выделить зоны деструкции и нарушения в гранитоидном массиве, но также и получить

изображения наименее нарушенных, сейсмически-прозрачных, консолидированных блоков внутри него. Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (проект № 04-05-64177-а).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Тарасов Ю.А.** Некоторые вопросы теории и приложений фокусировки падающих волн // Прикладная геофизика, 1968, № 51, 52, с. 23—41.
2. **Шленкин С.И., Поздняков В.А., Бусыгин И.Н.** Особенности применения методики ФПВ для выполнения трехмерной миграции с использованием непродольных систем наблюдения. М., 1985, 17 с. Деп. в ВИНТИ, N1106.85д.
3. **Поздняков В.А., Шленкин С.И.** Модельные исследования алгоритма миграции исходных сейсмозаписей при непродольных наблюдениях // Геология месторождений горючих полезных ископаемых, их поиски и разведка. Пермь, ППИ, 1986, с. 42—53.
4. **Шленкин С.И., Бусыгин И.Н., Поздняков В.А., Лавриненко А.Б.** Построение сейсмического изображения на основе фокусирующих преобразований исходных сейсмозаписей // Материалы 36-го международного геофизического симпозиума. Киев, 1991, с. 34—43.
5. **Шленкин С.И., Поздняков В.А., Бусыгин И.Н.** Выделение незеркальных компонент волнового поля на основе ФПВ-преобразования. М., 1992, 14 с. Деп. в ВИНТИ, N2834-B92д.
6. **Караев Н.А., Анисимов А.А., Кашкевич В.И., Травинская Т.И.** Сейсмическая гетерогенность земной коры и ее отображение в поле рассеянных волн // Геофизика, 1998, № 2, с. 29—40.
7. **Новые сейсмические технологии изучения сложнопостроенных резервуаров нефти и газа / С.И. Шленкин, Г.В. Каширин, А.В. Масюков, В.В. Харахинов // Тр. Международной геофизической конференции, посвященной 300-летию горно-геологической службы России. СПб., 2000, с. 493—494.**
8. **Строение рифейских природных резервуаров Куюмбинского и Терско-Камовского участков Юрубчено-Тохомской зоны нефтегазоаккумуляции / Р.Н. Мухаметзянов, Е.П. Соколов, С.И. Шленкин и др. // Геология нефти и газа, 2003, № 4, с. 1—7.**
9. **Левянт В.Б., Тронов Ю.А., Шустер В.Л.** Использование рассеянной компоненты сейсмического поля для дифференциации кристаллического фундамента на коллекторские и моноклитные зоны // Геофизика, 2003, № 3, с. 17—26.
10. **Чеверда В.А., Гольдин С.В., Костин В.И., Неклюдов Д.А.** Отделение рассеяния и дифракции от регулярного отражения в сейсмических данных // Геология и геофизика, 2003, т. 44, № 8, с. 819—827.
11. **Опыт изучения трещиноватости геосреды методом „сейсмический локатор бокового обзора — СЛБО“ / О.Л. Кузнецов, И.С. Файзуллин, И.А. Чиркин и др. // Тр. международной геофизической конференции и выставки „Геофизика XXI века — прорыв в будущее“. М., 2003, 4 с.**
12. **Курьянов Ю.А., Кузнецов О.Л., Чиркин И.А., Джафаров И.С.** Исследование техногенной трещиноватости, возникающей после гидроразрыва пласта. М., ВНИИгеосистем, 2001, 75 с.
13. **Котляров В.И., Сагалова Е.И.** Об обнаружении объектов дифракции способом фокусирования падающих волн в лабораторной модификации // Вопросы методики и техники геофизических исследований, Вып. 5. Львов, Изд-во Львов. ун-та, 1976, с. 52—57.
14. **Kanasewich E., Phadke S.** Imaging discontinuities on seismic sections // Geophysics, 1988, v. 53, p. 333—345.
15. **Landa E., Shtivelman V., Gelchinsky B.** A method for detection of diffracted waves on common offset sections // Geophysical Prospecting, 1987, v. 35, № 4, p. 359 — 374.
16. **Landa E., Keydar S.** Seismic monitoring of diffraction images for detection of local heterogeneities in the shallow subsurface // Geophysics, 1998, v. 63, p. 1093—1100.
17. **Поздняков В.А., Сафонов Д.В., Чеверда В.А.** Оптимизация параметров фокусирующих преобразований с использованием численного моделирования // Геология и геофизика, 2000, т. 41, № 6, с. 930—938.
18. **Рыгов С.М., Кравцов Ю.А., Татарский В.И.** Введение в статистическую радиофизику, Ч. II: случайные поля. М., Наука, 1978, 464 с.

Рекомендована к печати 9 августа 2004 г.  
С.В. Гольдиным

Поступила в редакцию 15 декабря 2003 г.,  
после доработки — 17 июня 2004 г.