

## ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ СКОРОСТНЫХ МОДЕЛЕЙ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ СРЕД НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДИФРАГИРОВАННЫХ ВОЛН

**Бондарев В.И., Крылатков С.М., Курашов И.А.**

*ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет», Екатеринбург, Россия (620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30), e-mail: vladimir.bondarev@m.ursmu.ru*

В ранее предложенном авторами способе анализа волнового поля [3] используется трансформация исходных трасс и отнесение результата в точки специально подобранной области пространства – большого бина с последующим их накоплением. Такая технология позволяет существенно повысить кратность суммирования сейсмических данных, а также проводить эффективное разделение наблюдаемого поля на зеркальные и дифракционные компоненты. В процессе получения зеркальных или дифракционных сейсмических изображений геологической среды необходимы сведения о значениях эффективных скоростей сейсмических волн. Оказалось, что определение этих скоростей можно выполнять в рамках предложенного способа. В статье описывается алгоритм такого скоростного анализа, приводятся результаты сравнения получаемых при этом значений скоростей со значениями скоростей, определяемых при стандартном скоростном анализе в методе ОСТ. Приводимые материалы свидетельствуют о том, что на основе предложенного скоростного анализа возможно получение сейсмических изображений изучаемой геологической среды.

Ключевые слова: скорость, дифракция, модель, кратность, волновое поле, рассеянные волны, спектр, средняя точка, акустический импеданс.

## TECHNOLOGY OF OBTAINING OF VELOCITY MODELS OF GEOLOGICAL MEDIA BASED ON APPLICATION OF DIFFRACTION WAVES

**Bondarev V.I., Krylatkov S.M., Kurashov I.A.**

*Ural state mining university, Yekaterinburg, Russia (620144, Yekaterinburg, Kuybysheva st., 30), e-mail: vladimir.bondarev@m.ursmu.ru*

In the previously proposed method of analysis of the wave field [3] was used transformation of source seismic traces to specially selected patch of observing area - Wide Bin, with subsequent accumulation. This technology allows to increase stacking fold of seismic data, and to conduct an effective separation of the observed field at the mirror and diffraction components. In the obtaining of mirror or diffraction seismic images of geological environment requires information about values of effective seismic velocities. It turned out that the determination of these velocities can be performed by the proposed method. The paper describes the algorithm of the velocity analysis, the obtained results compared with values of velocities, that determined by the standard CMP method of velocity analysis. Results indicates, that based on the proposed velocity analysis is possible to obtain seismic images of studied geological environment.

Key words: velocity, diffraction, model, fold, wave field, scattered waves, spectrum, middle point, acoustic impedance.

### Введение

В последнее десятилетие для сейсмической разведки, применяемой при поисках и разведке нефти и газа, все более актуальным является создание эффективных способов получения надежных и точных данных о фильтрационно-емкостных свойствах горных пород разреза, особенно в тех областях, где возможно нахождение месторождений углеводородов [1; 7]. Эти данные могут быть получены только при использовании новых технологий обработки и интерпретации сейсмических данных.

Одним из видов такой значимой для изучения нефтегазоперспективности разреза информации являются данные о плотности распределения трещин в единице объема среды. Получение сведений о значениях этого параметра в разрезе особенно важно при поисках и

разведке месторождений углеводородов с карбонатным и трещиноватым типом коллектора.

### **Цель исследования**

Рядом авторов [6] было показано, что основным сейсмическим атрибутом, способным характеризовать удельную плотность трещин, является величина относительной интенсивности дифрагированных, и прежде всего рассеянных, волн, наблюдаемых в сейсмическом волновом поле. При этом необходимо учитывать, что энергия дифрагированных волн на порядок, а рассеянных волн на два порядка слабее, чем энергия зеркальных отраженных волн, которые обычно выступают основным типом волн, регистрируемым при проведении традиционных сейсморазведочных работ на нефть и газ.

Одним из способов, позволявших изучать и учитывать эти особенности волн различной природы, явились способ СЛБО и его модификация СЛТО [6]. В них предполагается выполнение полевых работ по нестандартной методике. Полученные при этом сейсмические волновые поля практически не содержат отраженных волн. Поэтому последующие процедуры обработки позволяют получить информацию о распределении только дифракционных объектов в изучаемой части разреза.

Возможно создание таких специальных процедур обработки данных стандартных сейсморазведочных работ МОГТ, которые нацелены на регистрацию и получение именно дифракционных компонент волнового поля [5]. Для этого необходимо некоторое изменение последовательности и содержания выполняемых процедур обработки данных. За этапом предварительной обработки записей необходимо выполнить специальную трансформацию наблюденных сейсмических трасс так, чтобы суммирование данных происходило по линиям годографов дифрагированных, а не отраженных волн. При этом требуется модификация стандартных процедур обработки данных (процедур скоростного анализа, ввода статических поправок, регулировки амплитуд и пр.).

### **Материалы и методы исследования**

Авторами статей [2–4] предложена несколько иная методика получения сейсмических изображений среды на основе использования дифракционных компонент волнового поля. В ней реализуется технология специальной обработки данных, направленная на выделение как зеркальных, так и дифрагирующих объектов в геологической среде. Основой методики является специальная трансформация наблюденных сейсмических трасс.

При этом успешно решается задача разделения волнового поля как на зеркальные, так и дифракционные компоненты при одновременном достижении значительной кратности накопления, что позволяет уверенно выделять различные по энергии типы волн.

Важным для выполнения специальной трансформации сейсмических трасс в этой методике становится определение корректной скоростной модели изучаемой среды. Решение

данной задачи может быть получено путем специального анализа исходных сейсмограмм ОТВ и построения по ним оригинальных вертикальных спектров скоростей.

Рассмотрим однородную сейсмическую модель среды, включающую некоторую расположенную в пространстве модели неоднородность (назовем ее кратко – дифрактор) с размерами, меньшими длины волны. Можно условно считать, что на границе «среда – дифрактор» происходит резкое изменение акустического импеданса, которое можно описать, например, дельта-функцией. Для такой модели с одним дифрактором время пробега дифрагированной сейсмической волны от источника через дифрактор до приемника будет описываться известным в сейморазведке уравнением, содержащим два квадратных корня [1]. Это уравнение можно разрешить относительно глубины до дифрактора  $z_D$ , а затем пересчитать эту глубину в двойное время  $t_0$ , определяющее положение этого дифрактора на временном разрезе. Таким образом, может быть получен временной оператор преобразования любого значения амплитуды наблюдаемой трассы при фиксированных значениях координат источника и приемника в значение амплитуды на получаемом сейсмическом изображении среды в заданной точке на площади наблюдения:

$$t_0(x_D, y_D) = \sqrt{t(x_{ПВ}, y_{ПВ}, x_{ПП}, y_{ПП})^2 - \frac{2}{V^2} \cdot (R_1^2 + R_2^2) - \frac{(R_1^2 - R_2^2)^2}{V^4 \cdot t(x_{ПВ}, y_{ПВ}, x_{ПП}, y_{ПП})^2}}, \quad (1)$$

где  $t(x_{ПВ}, y_{ПВ}, x_{ПП}, y_{ПП})$  – текущее время на наблюдаемой сейсмической трассе;  $R_1^2 = (x_D - x_{ПВ})^2 + (y_D - y_{ПВ})^2$ ;  $R_2^2 = (x_D - x_{ПП})^2 + (y_D - y_{ПП})^2$ ;  $x_{ПВ}, y_{ПВ}; x_{ПП}, y_{ПП}; x_D, y_D$  – координаты на плоскости наблюдений пункта возбуждения, пункта приема и точки, под которой возможно нахождение дифрактора (точки отнесения результата трансформации волнового поля) соответственно;  $V$  – скорость в среде.

На основе этого уравнения можно по каждой из трасс  $A_i(t)$  исходного набора данных получать для разных значений координат возможного дифрактора  $x_D, y_D$  множество трансформированных трасс  $A_i^*(t_0)$ . При этом на каждой точке исследуемого профиля или площади может быть получен значительный набор сейсмических трасс, рассчитанных для разных пар источников и приемников. Такой набор трансформированных трасс при последующем суммировании позволяет получать итоговую трассу нового изображения высокой кратности. При использовании при этом данных, полученных по стандартной методике многократных перекрытий, кратность суммирования может быть увеличена по сравнению со стандартной на 1,5–2 порядка.

Авторами способа было предложено выполнять преобразования трасс и последующее накапливание трансформированных трасс лишь в пределах некоторой ограниченной области на плоскости наблюдений (большого бина), некоторым образом привязанной к положению

источника и приемника, для любой выбранной сейсмической трассы из набора исходных сейсмограмм общей точки возбуждения (ОТВ). При этом геометрические параметры большого бина – площади, на которую трансформируется каждая сейсмическая трасса, являются управляющими параметрами в процедуре преобразования данных. Форма, размеры и координаты центра большого бина позволяют напрямую влиять на свойства получаемых изображений геологической среды. Так, при использовании большого бина с малым диаметром и центром, располагаемым в средней точке между источником и приемником для любой выбранной исходной трассы, получаемые изображения будут в значительной степени соответствовать результатам стандартной обработки по методу ОСТ и характеризовать, главным образом, зеркально отраженные сейсмические волны.

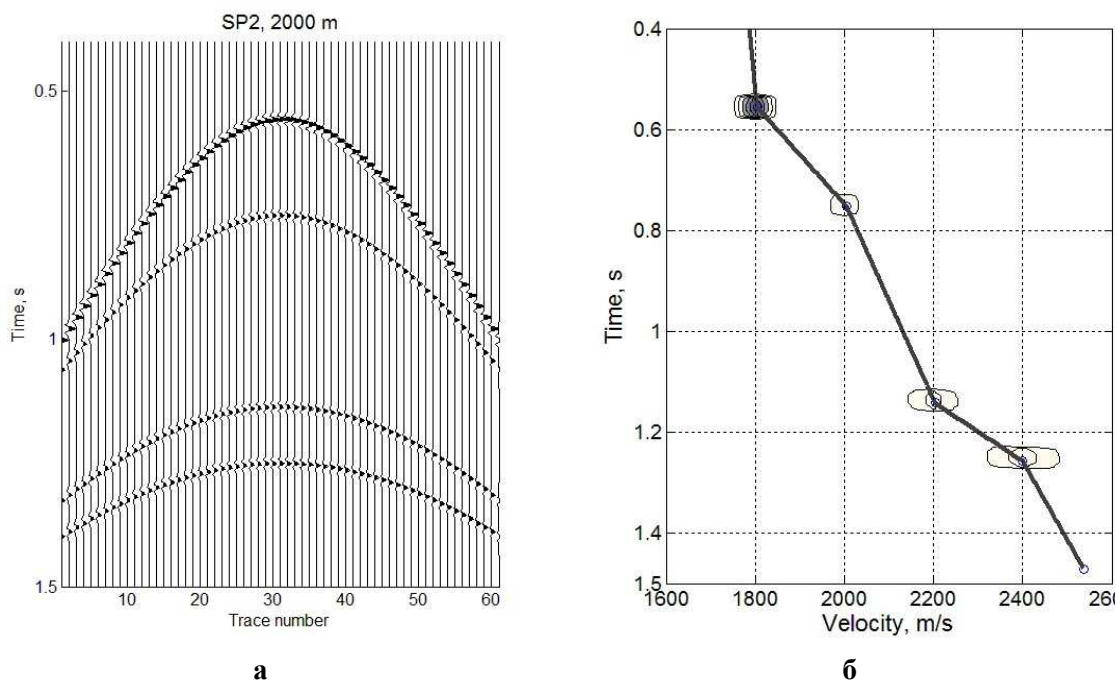
Одним из важных параметров, определяющих устойчивость подобных преобразований, является входящая в уравнение величина скорости упругих волн. Так как в основу преобразований положена эффективная скоростная модель, то для выполнения преобразования требуется значение именно этой скорости. Попытаемся показать возможность определения значений эффективной скорости для различных глубин (или значений времен  $t_0$ ) в среде непосредственно путем анализа исходных сейсмограмм, без привлечения каких-либо дополнительных наблюдений. Для этого может быть использована модернизированная технология построения вертикальных спектров скоростей по сейсмограммам ОТВ, напоминающая стандартный способ получения вертикальных спектров скоростей в МОГТ.

Алгоритм получения спектра скоростей по сейсмограммам ОТВ может быть описан следующим образом. Предположим, что определение скоростного закона требуется выполнить только для некоторой фиксированной расчетной точки на поверхности наблюдений. При этом известны также параметры большого бина. Должен быть задан диапазон допустимых значений скоростей преобразования (эффективных скоростей) для всего изучаемого глубинного или временного интервала и выбран шаг перебора скоростей в этом диапазоне.

Из всех сейсмограмм отбираются только те сейсмические трассы ( $A_1(t), A_2(t), \dots, A_k(t)$ ), которые могут трансформироваться в различные большие бины, но при этом только в одну и ту же выбранную нами ранее расчетную точку на площади исследований. Далее сейсмические трассы этой выборки преобразуются в трассы сейсмического изображения ( $A^*_1(t_0), A^*_2(t_0), \dots$ ) в расчетной точке. В основе трансформации лежит указанное выше уравнение (1). Для каждого такого преобразования требуется значение скорости, которое выбирается из определенного ранее диапазона допустимых значений и фиксируется.

Далее выбирается некоторый небольшой интервал (окно) по времени. Это окно

последовательно перемещается по значениям  $t_0$ . При каждом фиксированном положении окна суммируются все амплитуды трасс трансформированной выборки, попавшие в окно, и определяется нормированный модуль или квадрат полученной суммы. Значение этой величины относится к координате центра окна  $t_0$  и принятому значению скорости трансформации  $V$  и является функцией двух этих параметров.



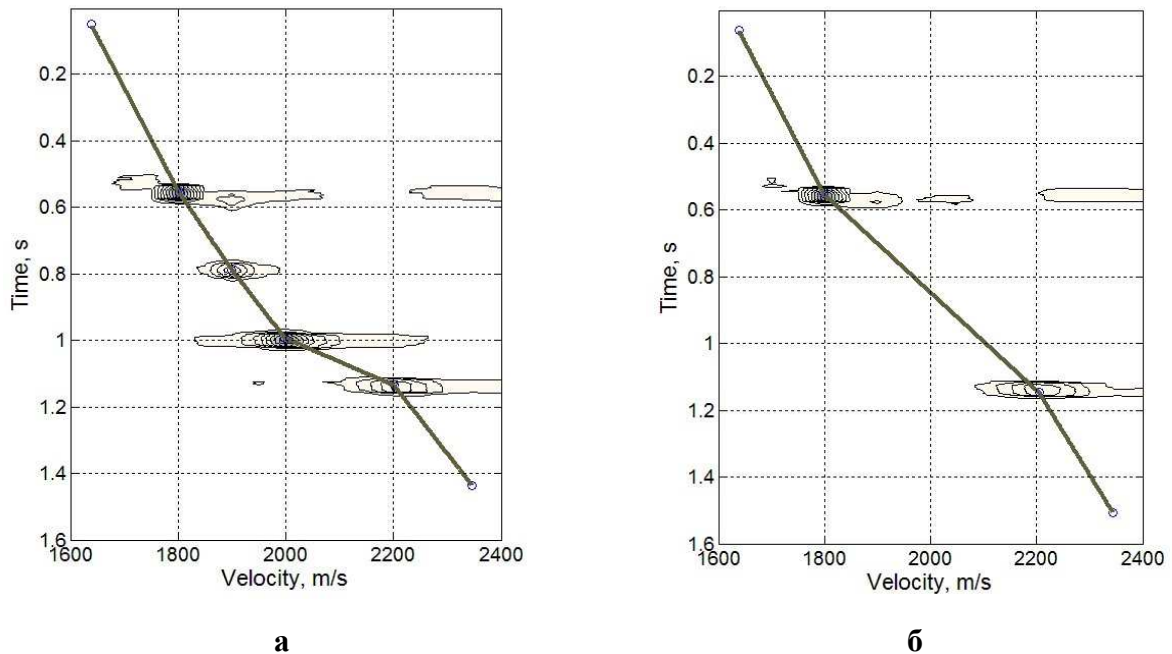
**Рис. 1. Одна из исходных теоретических сейсмограмм (а) и полученный по набору таких сейсмограмм вертикальный спектр скоростей (б).**

График этой функции, рассчитанный при фиксированных значениях центра окна  $t_0$ , но при различных значениях скорости, представляет собой одно из сечений получаемого спектра скоростей. В процессе анализа этих сечений в дальнейшем производится выбор значения скорости, соответствующего максимальному значению нормированной суммы, и выбранное значение скорости рассматривается как оптимальная скорость суммирования (скорость трансформации), которая меняется по разрезу в зависимости от  $t_0$ .

### Результаты исследования и их обсуждение

Пример получения спектра скоростей по совокупности теоретических сейсмограмм ОТВ, соответствующих модели среды с несколькими отражающими границами в разрезе, показан на рис. 1. На рисунке 2 показаны вертикальные спектры скоростей, полученные для более сложной сейсмической модели среды, включающей в себя две отражающие границы и два дифрактора, расположенных по вертикали один под другим между отражающими границами. На рисунках 2а и 2б показаны спектры скоростей, полученные для двух расчетных точек по профилю. Одна из таких точек, где вычислялся спектр скоростей (рис. 2а), находилась

непосредственно над дифракторами, а другая была смещена на 500 метров в сторону (рис. 2б). При расчете теоретических сейсмограмм учитывалось соотношение энергий дифрагированных и отраженных волн и вносился случайный шум. Видно, что даже при низком уровне энергии дифракционной компоненты в исходном волновом поле удается достаточно уверенно получать данные о скоростях дифрагированных волн. Устойчиво определяются скорости суммирования и при высоком уровне случайных помех.



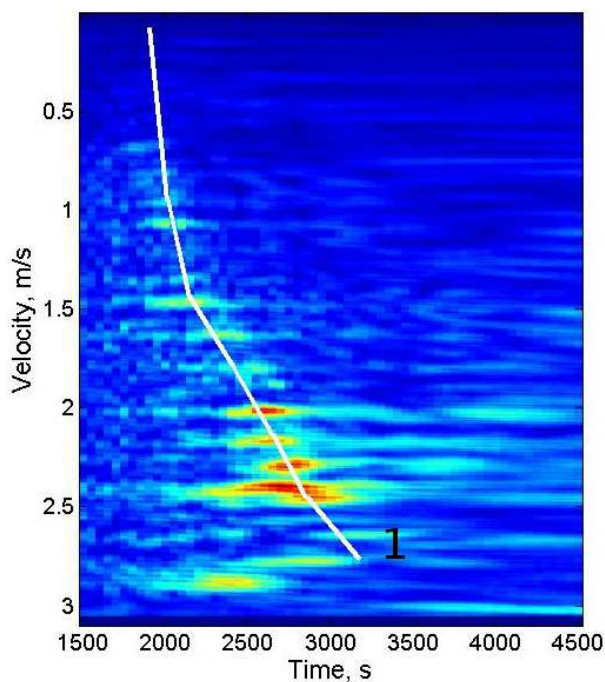
**Рис. 2. Вертикальные спектры скоростей для модели среды с дифракторами и отражающими границами, рассчитанные для различных точек профиля:**

- а) непосредственно над дифракторами;
- б) на удалении 500 м от проекций дифракторов на линию наблюдения.

Важным является то обстоятельство, что при использовании предлагаемого способа скоростного анализа количество трасс, участвующих в формировании спектра, за счет особенностей процесса трансформации в пределах большого бина может быть существенно увеличено по сравнению со стандартной обработкой. Это приводит к большей помехоустойчивости получаемых по этой технологии вертикальных спектров скоростей. Особенно этот эффект проявляется в случае, когда центр большого бина в процессе получения спектра совпадает с общей средней точкой между источником и приемником для каждой используемой трассы. Это означает, что система построения изображений среды настроена на использование в основном зеркально отраженных компонент волнового поля. В случае же расположения центра большого бина в точках приема (или возбуждения), т.е. при ориентации системы обработки на подчеркивание дифракционных компонент волнового поля, вертикальные спектры скоростей получаются менее выразительными, но тем не менее

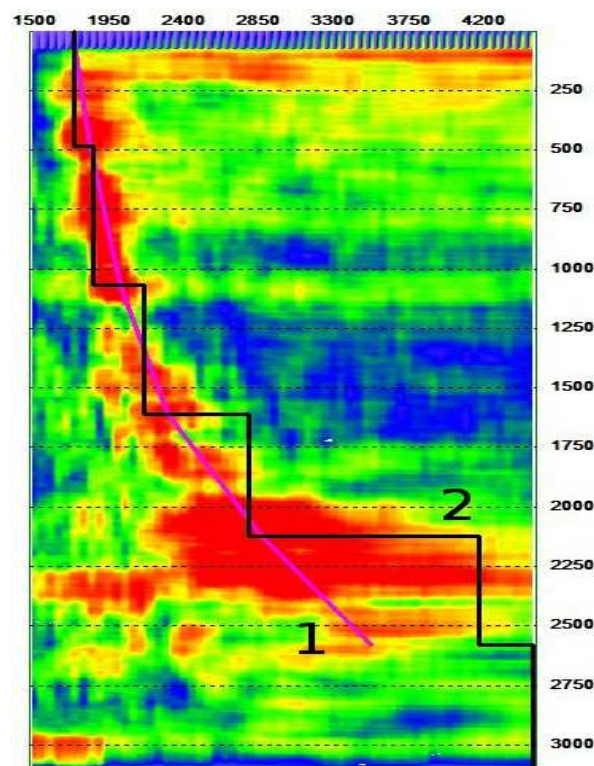
несут объективную информацию о характере изменения эффективной скорости в зависимости от времени (глубины).

На рис. 3 показан пример получения вертикального спектра скоростей по стандартной технологии при обработке материалов сейсморазведочных работ МОГТ-2D на территории Западной Сибири. Аналогичные же результаты получаются и по новой технологии, если центр большого бина совпадает с общей средней точкой базы наблюдений. Если технология обработки настроена на выделение дифракционных компонент волнового поля путем смещения центра большого бина в область приема, то получаемые вертикальные спектры становятся менее выразительными. Это хорошо видно по спектру скоростей, показанному на рис. 4. Тем не менее получаемые значения эффективных



**Рис. 4. Результаты скоростного анализа, выполненного по новой технологии, центр большого бина относится к точке приема колебаний:**

1 – график эффективной скорости, цветовая гамма характеризует распределение энергии в окне.



**Рис. 3. Результаты стандартного скоростного анализа, выполненного по сейсмограммам ОСТ:**

1 – график эффективной скорости;  
2 – график пластовой скорости, цветовая гамма характеризует распределение энергии в окне.

скоростей близки к значениям, получаемым, когда система обработки настроена на регистрацию зеркально отраженных компонент волнового поля.

Таким образом, можно говорить о создании оригинального способа определения скоростного строения среды в процессе обработки данных по новой технологии.

### **Выводы**

Проведенные исследования свидетельствуют о том, что скоростной анализ, выполняемый по предлагаемой технологии, позволяет построить скоростную модель, которая характеризует среду не только с позиций возможностей выделения зеркально отраженных компонент волнового



поля, но открывает возможности определения скоростной модели среды на базе использования дифракционных и рассеянных компонент волнового поля. Эта информация о скоростях может быть использована в случаях, когда дифракционные и рассеянные компоненты волнового поля являются основным инструментом изучения строения геологической среды. Такие проблемы начинают играть существенную роль, когда основной задачей сейсморазведки является задача изучения областей повышенной трещиноватости в коллекторах на месторождениях нефти и газа.

### Список литературы

1. Бондарев В.И., Крылатков С.М. Сейсморазведка : учеб. для вузов. – 2-е изд. – Екатеринбург : УГГУ, 2011. – Т. 2. – 410 с.
2. Бондарев В.И., Крылатков С.М., Курашов И.А. Анализ компонент сейсмического волнового поля в задачах сейсморазведки // Известия вузов. Горный журнал. – 2012. – № 3. – С. 146-153.
3. Бондарев В.И., Крылатков С.М., Курашов И.А. Технология обработки сейсмических данных на основе анализа дифрагированной составляющей волнового поля // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 1. – URL: [www.science-education.ru/101-5605](http://www.science-education.ru/101-5605) (дата обращения: 06.02.2013).
4. Бондарев В.И., Крылатков С.М., Смирнов А.С. Временные разрезы направленного видения в сейсморазведке методом многократных перекрытий // Технологии сейсморазведки. – 2005. – № 3. – С. 49-55.
5. Козлов Е.А. Модели среды в разведочной сейсмологии. – Тверь : ГЕРС, 2006. – 480 с.
6. Курьянов Ю.А. Трещиноватость геосреды и ее изучение сейсмоакустическими методами / Курьянов Ю.А., Кокшаров В.З., Чиркин И.А., Шленкин С.И. // Геофизика: Специальный выпуск к 40-летию ОАО «Тюменнефтегеофизика». – 2004. – С. 9-16.
7. Писецкий В.Б., Крылатков С.М. О коэффициенте Пуассона нефтяных коллекторов с дискретной структурой // Известия вузов. Горный журнал. – 2005. – № 1. – С. 115-121.

### Рецензенты:

Писецкий В.Б., д.г.-м.н., доцент, заведующий кафедрой геоинформатики ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург.

Сковородников И.Г., д.г.-м.н., профессор кафедры геофизики ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург.