

Геофизические технологии, № 1, 2020, с. 28–39 doi: 10.18303/2619–1563–2020–1–28 **www.rjgt.ru** УДК 550.34.012

ПОДХОД К АВТОМАТИЗАЦИИ ЭТАПОВ ОБРАБОТКИ СЕЙСМОРАЗВЕДОЧНЫХ ДАННЫХ МЕТОДА ПРЕЛОМЛЕННЫХ ВОЛН

Г.С. Чернышов, В.И. Карпухин

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, 630090, Новосибирск, просп. Акад. Коптюга, 3, Россия, e-mail: ChernyshovGS@ipgg.sbras.ru

В данной работе рассматриваются подходы к автоматизации нескольких этапов обработки данных инженерной сейсморазведки МПВ: суммирование сейсмограмм разных накоплений, пикировка времен первых вступлений, увязка системы годографов по взаимным временам. В основе предлагаемых методов лежит сравнение волновых форм нескольких трасс с помощью функции взаимной корреляции. Методы были протестированы как на синтетических данных для оценки оптимальных параметров процедур, так и на реальных данных. Тестирование показало небольшие различия между ручным вариантом обработки и результатом применения разработанных алгоритмов.

Метод преломленных волн; годограф первых вступлений; инженерная сейсморазведка

THE APPROACH TO AUTOMATING THE PROCESSING STAGES OF REFRACTED WAVE SEISMIC DATA

G.S. Chernyshov, V.I. Karpukhin

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, Koptyug Ave., 3, Novosibirsk, 630090, Russia, e-mail: ChernyshovGS@ipgg.sbras.ru

In this paper, we consider approaches to automating several stages of processing engineering seismic data: summing seismograms of different accumulations, picking the first arrival times, minimizing the residuals of mutual times for the hodograph system. The proposed methods are based on the comparison of waveforms of several traces using the cross-correlation function. The methods were tested on synthetic data to evaluate the optimal parameters of the procedures. Real data testing shows that the developed algorithms yield the results equal to manual processing.

Refracted wave method; first arrival times; engineering seismic survey

ВВЕДЕНИЕ

Метод преломленных волн (МПВ) является одним из популярных методов построения скоростных моделей геологических сред по сейсмическим данным [Боганик, Гурвич, 2006]. Он активно используется для решения задач разного масштаба: от изучения строения земной коры и верхов мантии методом глубинных сейсмических зондирований [Крылов и др., 1993] до построения моделей верхней части разреза по данным разведочной и инженерной сейсмики [Yilmaz, 2015].

© Г.С. Чернышов, В.И. Карпухин, 2020

На протяжении всего существования МПВ актуальной задачей является развитие методов автоматической обработки данных. Так, для повышения качества данных (отношение сигнал/помеха) были предложены методы корреляционной обработки [Еманов, 2004]. Они позволяют усилить амплитуды целевых волн для дальнейшей обработки, включая пересчет головных волн фильтрами Винера [Селезнев, Еманов, 1998].

Важнейшим этапом МПВ является снятие времен вступлений преломленных волн для дальнейшего решения обратной задачи. В частности, разрабатывается большое количество подходов к автоматизации снятия времен первых вступлений, см. обзор в [Akram, Eaton, 2016]. В этой статье предлагается делить методы на одноканальный (анализ записи одного приемника) и многоканальный (анализ записей группы приемников). Многоканальный анализ чаще используют для уточнения грубо снятых времен первых вступлений, см. подход на основе расчета взаимной корреляции между записями разных станций [Van Decar, Crosson, 1990].

Обратная задача построения скоростных моделей по временам прихода сейсмических волн является неединственной, и существует несколько подходов к ее решению. Построение модели проводится специалистом в ручном режиме, см. метод прямого лучевого моделирования [Суворов и др., 2013]. Для построения скоростной модели можно также предположить, что количество слоев в модели известно. Это потребует выделения ветвей на годографах времен прихода, но далее процедура становится автоматической: метод t'_0 в различных вариациях [Пузырев, 1997], метод полей времен [Епинатьева и др., 1990]. Для целей автоматизации наиболее удобным является метод лучевой томографии [Natterer, 1986], из-за отсутствия этапа ручной работы с временами прихода.

В данной работе рассматриваются подходы к автоматизированной обработке данных инженерной сейсмики. Основным объектом изучения является верхняя часть разреза (ВЧР), изучение которой необходимо для решения большого круга задач: от планировки строительства крупных сооружений до картирования археологических объектов. По сравнению с сейсморазведкой, инженерная сейсмика характеризуется меньшими масштабами работ, следовательно, и менее плотными системами наблюдений. Поэтому использование существующих в сейсморазведке обрабатывающих пакетов для анализа данных инженерной сейсмики затруднено. Более того, автоматизация процесса обработки позволяет не только ускорить получение результата, но также провести экспресс-обработку прямо на профиле для контроля качества данных (что позволяет провести повторные измерения для устранения выявленных проблем).

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Обработка данных инженерной сейсморазведки включает в себя следующие этапы [Yilmaz, Doherty, 2001; Боганик, Гурвич, 2006]:

- накопление сейсмограмм на одном пункте взрыва (ПВ) при повторных возбуждениях (особенно важно при возбуждении кувалдой);
- снятие времен первых вступлений;
- увязка системы годографов по взаимным временам;
- построение скоростного разреза.

В статье предлагаются подходы к автоматизации первых трех этапов обработки. При этом предполагается, что на последнем этапе будет использован метод лучевой томографии, который в

высокой степени автоматизирован и реализован в виде готовых программ. Сложнее ситуация с первыми тремя этапами. Суммирование накоплений чаще всего производится автоматически без контроля возможных ошибок отметки момента возбуждения, и, тем более, возможности коррекции за эту ошибку. Снятие времен первых вступлений хоть и имеет множество автоматических реализаций, но они редко оказываются применимы к малоглубинным данным. Увязка системы годографов производится в большинстве программ путем ручного исправления и переноса годографов.

Предлагаемые решения объединяет то, что они основаны на использовании функции взаимной корреляции (ФВК) для сравнения временных интервалов нескольких трасс. Взаимная корреляция широко используется при обработке сейсмических данных как сейсмического мониторинга [Yu, 2018], так и данных МПВ [Селезнев, Еманов, 1998]. ФВК рассчитывается по формуле:

$$r_{12}(j) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x_1(n) x_2(n+j),$$
(1)

где $x_1(n)$, $x_2(n)$ – отсчеты двух дискретных сигналов, N – количество отсчетов дискретного сигнала, r_{12} – функция взаимной корреляции, j – сдвиг между сигналами x_1 и x_2 .

ФВК позволяет оценить схожесть двух сигналов, а также величину их относительного сдвига. На рисунке 1 приведен пример поиска относительного смещения двух схожих сигналов. На рисунке 1*а* показаны два сигнала, смещенные относительно друг друга на 20 мс, на рис. 1*б* показана ФВК, рассчитанная по формуле (1). Видно, что положение максимума сдвинуто относительно нуля на 20 мс, т. е. соответствует сдвижке между двумя сигналами.



Рис. 1. Пример использования ФВК: *а* – два сигнала, смещенные относительно друг друга на 20 мс, *б* – ФВК для этих сигналов

Мера схожести формы двух сигналов определяется коэффициентом корреляции, который является величиной максимума ФВК после нормировки:

$$k_{12} = \max(\frac{r_{12}}{\sigma_1 \cdot \sigma_2}),$$
 (2)

где σ_1 и σ_2 – энергия сигналов x_1 и x_2 соответственно.

МЕТОДЫ

Рассмотрим более подробно предлагаемые подходы к решению задач, обозначенных в предыдущем разделе.

Суммирование накоплений. Ошибки при определении отметки времени воздействия при разных накоплениях на одном ПВ приводят к смещению, постоянному для одной сейсмограммы. Поэтому для определения смещения времени начала записи для двух накоплений достаточно определить смещение для одной трассы. В качестве инструмента для поиска величины смещения будем использовать ФВК.

Перечислим основные шаги предлагаемого алгоритма:

- 1. Выбор удаления трассы для сравнения накоплений на одном пункте взрыва.
- 2. Расчет матрицы максимумов ФВК между накоплениями, анализ матрицы и отбраковка некачественных накоплений.
- 3. Построение системы линейных уравнений и ее решение для оценки относительных смещений между накоплениями.
- 4. Сдвиг сейсмограмм и суммирование накоплений.

Выбор трассы для корреляции стоит за обработчиком, однако в ходе работы было выявлено, что лучше для этой задачи подходят трассы, расположенные на небольшом расстоянии от источника (где уже сформировалась волновая картина, но сохраняется высокое отношение сигнал/шум).

Интерполяция трассы на меньший шаг. Величина относительного смещения трасс зависит от исходной дискретизации сейсмической записи, для увеличения точности сопоставления трасс производится интерполяция на меньший шаг по времени.



Отбраковка некачественных накоплений. На этом этапе происходит расчет ФВК для выбранной трассы для всех возможных пар разных накоплений. Для начала все значения максимумов ФВК формируем в виде матрицы, где индекс строки/столбца соответствует номеру накопления (рис. 2). Отбраковку накоплений можно производить при сильном отклонении значения максимума ФВК от максимального для рассматриваемого ПВ. Пример такого отклонения можно наблюдать на рис. 2, где второе накопление характеризуется низким значением максимума ФВК по отношению ко всем остальным.

После первоначальной отбраковки производится оценка относительных смещений между накоплениями. Для этого предлагается использовать метод [Yu et al., 2018], предложенный для снятия времен вступлений волн от микросейсмических событий. Для этого строится система линейных уравнений:

$$A t = \Delta t, \tag{3}$$

где *t* – искомый вектор смещений отметки нуля (*t_i* – смещение нуля для накопления *i*), Δ*t* – вектор попарных смещений (Δ*t_{ij}* – смещение максимума ФВК между трассами накоплений *i* и *j*), *A* – матрица, связывающая вектор смещений отметки нуля с вектором попарных смещений. Покажем пример системы линейных уравнений для пяти накоплений:

$$\begin{pmatrix} 1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} t_1 \\ t_2 \\ t_3 \\ t_4 \\ t_5 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \Delta t_{12} \\ \Delta t_{13} \\ \Delta t_{14} \\ \Delta t_{15} \\ \Delta t_{23} \\ \Delta t_{24} \\ \Delta t_{25} \\ \Delta t_{34} \\ \Delta t_{35} \\ \Delta t_{45} \\ 0 \end{pmatrix} .$$
(4)

Таким образом, после этой процедуры нулевое время накопления может не соответствовать истинной нулевой отметке. И эта ошибка может быть разной для разных пунктов взрыва.

Данная система линейных уравнений решается методом наименьших квадратов:

$$\boldsymbol{t} = (\boldsymbol{A}^T \boldsymbol{A})^{-1} \boldsymbol{A}^T \Delta \boldsymbol{t}. \tag{5}$$

Решение данной линейной позволяет найти значения относительных смещений нуля для разных накоплений. Далее производится временная сдвижка всех трасс сейсмограмм на эти величины и их суммирование. Заметим, что после суммирования выполняется децимация трасс, чтобы вернуться к исходной дискретизации.

Построение годографа первых вступлений. После получения итоговых сейсмограмм общего пункта взрыва следует этап снятия времен первых вступлений. Полностью автоматизировать эту процедуру трудно. Корреляционные подходы дают хорошие результаты для уточнения грубо снятых времен, так как на результат сильно влияет правильный выбор окон анализа для оценки корреляции между трассами. Для данных инженерной сейсмики мы предполагаем, что очень грубое построение

годографа делает обработчик. Он задает несколько точек, которые соединяются прямыми линиями. Эта процедура хорошо соответствует выделению ветвей годографов головных волн в методе t'_0 .

Таким образом, получаем полуавтоматический подход к снятию времен первых вступлений:

- 1. Задание примерного годографа и выбор окна анализа.
- 2. Построение системы линейных уравнений и ее решение для оценки времен прихода волн.
- 3. Построение годографов первых вступлений времен (относительных времен).

Вначале пользователю необходимо задать начальную точку окна для всех трасс на сейсмограмме (рис. 3). Как правило, необходимо выделить 1–5 точек излома.



Рис. 3. Пример задания окна анализа: синяя линия – линия начала окна анализа (задается точками перегиба), оранжевая – конец окна анализа (по параметрам ширины окна)

Оценка времен относительных смещений между соседними трассами проводится аналогично предыдущему разделу и [Yu et al., 2018]. ФВК рассчитывается между трассами в интервале окна анализа (см. рис. 3). Затем строится система линейных уравнений (3)–(4). Заметим, что решение этой системы дает годограф прихода волны с точностью до константы.



Рис. 4. Выбор окна анализа для снятия времен прихода, вверху – окно анализа 40 мс, внизу – окно анализа 80 мс; синяя и оранжевая линии – границы окна анализа, красная линия – снятые времена прихода волн

Важным параметром является ширина окна анализа. Было проведено сравнение результатов для разных значений ширины окна анализа, см. пример на рис. 4. Вверху – длина окна 40 мс, внизу – длина окна 80 мс. Синяя линия – линия начала окна анализа (задана обработчиком). Красная линия – снятый годограф времен прихода волны. Для визуализации все трассы нормируются на собственные максимумы амплитуд. Тестирование на реальных данных показало, что оптимальным значением является ширина в 2–3 полупериода сигнала в первых вступлениях, см. верхнюю панель на рис. 4. Видно, что годограф (красная линия) на рис. 4 вверху лучше соответствует временам прихода сигналов, чем на рис. 4 внизу.

Еще одним важным параметром является количество соседних трасс при построении линейной системы (3)–(4). Напомним, что в задаче суммирования накоплений нужно считать ФВК для всех комбинаций. Иная ситуация возникает при снятии времен прихода волн, т. к. форма волн сильно изменяется при удалении от источника. Но это изменение происходит постепенно, так что трассу нужно сравнивать только с соседними трассами в некотором диапазоне. Чтобы выбрать этот диапазон, построим матрицу коэффициентов корреляции для сейсмограммы общей точки возбуждения. Каждый элемент содержит коэффициент корреляции между соответствующими трассами (см. формулу (2)).

Пример такой матрицы показан на рис. 5. Проследив значения в строке матрицы, видно, как коэффициент корреляции падает при удалении от диагонали. На рисунке 5 слева показана матрица для окна анализа (рис. 4 вверху), на рис. 5 справа – матрица для окна анализа (рис. 4 внизу). Здесь также видно, что использование меньшего окна анализа дает лучший результат. Оптимальное число соседних трасс можно определить, определив коридор высоких значений вокруг диагонали; для данного примера использовалось десять соседних трасс.



Рис. 5. Пример матриц коэффициентов корреляции для пикировки с большим окном (справа) и малым окном (слева). Для малого окна пикировка верная

Приведение годографов к единой отметке нуля. В стандартном графе обработки данных МПВ процедура увязки годографов направлена на контроль качества снятых времен и их корректировку. Эта процедура трудно автоматизируема, т. к. требует участия специалиста и работы в интерактивном режиме для контроля снятых времен на сейсмограммах. В данной статье такая задача не ставилась.

Однако напомним, что на предыдущем этапе были получены годографы времен прихода волн, которые хорошо описывают относительную разность между временами прихода сигналов на соседних трассах. То есть форма годографов должна быть правильной, но они могут быть смещены по времени на постоянные сдвижки. Система годографов оказывается не увязана специфическим образом на постоянные сдвижки для каждого годографа общего пункта взрыва.

Таким образом, можно использовать требование равенства взаимных времен, чтобы привести систему годографов для всех ПВ к одной отметке нулевого времени. Эта задача также решается с помощью системы линейных уравнений (3)–(4). Однако теперь для правой части системы: Δ*t* – невязки взаимных времен, *t* – искомые сдвиги годографов.

ТЕСТИРОВАНИЕ

Для тестирования разработанных инструментов были взяты данные, полученные в ходе полевых работ на территории Алтая в 2016 году. Тип источника – ударный (кувалда). Длина профиля составляет 156 м. Шаг ПВ – 10 м, шаг ПП – 2 м. Всего имелось 16 ПВ и 78 ПП. Все описанные ранее методы реализованы в виде программы на языке Python, что упрощает дальнейшую разработку и использование.

Процедура суммирования накоплений.

Входные параметры процедуры: удаление источник-приемник трассы для корреляции – 10 м.

В качестве начальных данных имелось 172 сейсмограммы на 16 ПВ (в среднем 10 накоплений на ПВ). В результате работы процедуры в сейсмограммы были введены временные поправки от 0 до 8 мс, так же автоматически было отбраковано три сейсмограммы некачественных накоплений, пропущенные обработчиком при ручной отбраковке. Выходными данными стали 16 сейсмограмм.

На рисунке 6 представлено два участка одной и той же накопленной сейсмограммы. Как видно, прямое суммирование сейсмограмм накоплений (рис. 6*a*) может приводить к значительным погрешностям при снятии времен первых вступлений. В результате на предварительно смещенных перед суммированием сейсмограммах сигнал в первых вступлениях выделяется лучше, чем без использования смещений.



Рис. 6. Пример результата сейсмограмм по результатам накопления: *а* – простое суммирование, *б* – суммирование после коррекции за отметку нулевого времени

Процедура пикировки времен первых вступлений.

Входные параметры процедуры: Ширина окна анализа – 10 мс, количество соседних трасс для определения смещения – 10.

Входными данными стали 16 сейсмограмм (948 трасс), в сейсмограммах были отбракованы трассы с маленьким соотношением сигнал/шум, для которых даже вручную снятие ВПВ являлось нецелесообразным.



Рис. 7. Пример снятия ВПВ ручным способом и с использованием ФВК

На рисунке 7 приведен пример снятия ВПВ для одной сейсмограммы ручным способом и с помощью разработанного подхода. Видно, что в некоторых местах сейсмограммы, полученные вручную ВПВ сильно отличаются от результатов, полученных с помощью ФВК и трудно сказать какое именно значение времени верное. Связано это с тем, что «ручная» пикировка зависит от величины усиления и приближения, однако с помощью ФВК получены времена без использования дополнительных операций, что говорит в пользу использования предложенного алгоритма. Среднее значение абсолютной невязки полученных времен с помощью ФВК относительно ручного снятия составляет 1.1 мс с максимальным значением равным 8.4 мс, которое связано с малыми разносами и близостью к источнику.

Процедура увязки системы годографов.

Входными данными процедуры стала система годографов со средней абсолютной невязкой взаимных времен для всех пар годографов 1.1 мс, с максимальным отклонением 2.8 мс. Выходными данными процедуры стала система увязанных годографов со средней абсолютной невязкой взаимных времен 0.37 мс, максимальным значением 1.2 мс (рис. 8).

Процедура построения скоростной модели среды.

Далее в программе PROFIT [Ступина, Кулаков, 2009] были построены скоростные разрезы методом сейсмической лучевой томографии по имеющимся «ручным» и снятым автоматически годографам (рис. 9).

Основные параметры процедуры: 8 итераций, шаг по сетке – 0.5х0.5 м.







Рис. 9. Скоростные разрезы, построенные методом сейсмической томографии в программе PROFIT: *a* – разрез, полученный по годографам с использованием ФВК, *б* – разрез, полученный по ручным годографам

Разница полученных моделей составляет в среднем 80 мс, основные скоростные аномалии повторяют свои контуры, что говорит о высоком сходстве скоростных моделей. Таким образом показано, что применение разработанных алгоритмов не приводит к существенным погрешностям по сравнению с ручной обработкой данных.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Были разработаны и реализованы алгоритмы автоматической обработки данных МПВ: суммирование сейсмограмм накоплений, снятие времен первых вступлений, увязка системы годографов по взаимным временам. Инструменты суммирования сейсмограмм накоплений и снятия времен первых вступлений основаны на поиске относительного смещения сигналов на разных трассах с помощью функции взаимной корреляции. Автоматическая увязка системы годографов позволяет компенсировать ошибки в определении нулевого времени (сдвиги годографов на постоянные задержки). Алгоритм позволяет рассчитать временные сдвиги, минимизирующие суммарную невязку взаимных времен для всех годографов профиля.

Проведена апробация инструментов на реальных данных МПВ, полученных на территории Алтая в 2016 году. Результатом применения алгоритмов системы годографов первых вступлений для всего профиля, средняя абсолютная невязка с годографами, снятыми вручную составила 1,1 мс. По двум системам годографов (автоматическое и ручное снятие времен) были построены скоростные разрезы методом лучевой томографии в программе PROFIT. Тестирование показало небольшие различия между ручным вариантом обработки и результатом применения разработанных алгоритмов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (проект № 19-35-90114).

ЛИТЕРАТУРА

Боганик Г.Н., Гурвич И.И. Сейсморазведка. Учебник для вузов. – Тверь: Издательство АИС. – 2006. – 744 с.

Еманов А.Ф. Восстановление когерентных составляющих волновых полей в сейсмике: Дис. на степень доктора техн. наук. – Новосибирск, 2004. 279 с.

Епинатьева А.М., Голошубин Г.М., Литвин А.Л., Павленкин А.Д., Петрашень Г.И., Старобинец А.Е., Шнеерсон М.Б. Метод преломленных волн. – М.: Недра, 1990. – 296 с.

Крылов С.В., Кульчинский Ю.В., Мандельбаум М.М., Мишенькин Б.П., Мишенькина З.Р., Петрик Г.В., Селезнев В.С., Сергеев В.Н., Соловьев В.М., Суворов В.Д., Тен Е.Н., Шелулько И.Ф. Детальные сейсмические исследования литосферы на *P*- и S-волнах. – Новосибирск: Наука, 1993. – 199 с.

Пузырев Н.Н. Методы и объекты сейсмических исследований. Введение в общую сейсмологию. Новосибирск: Изд-во СО РАН. – 1997. – 299 с.

Селезнев В.С., Еманов А.Ф. Пересчет волновых полей головных волн фильтрами Винера // Геология и геофизика. – 1998. – Т. 39, № 4. – С. 536–546.

Ступина Т., Кулаков И. Сложностно-структурный подход к исследованию области применимости алгоритма PROFIT [Электронный ресурс] // Information Science and Computing. – 2009. – С. 79–85. http://www.foibg.com/ibs_isc/ibs-15/ibs-15-p10.pdf

Суворов В.Д., Беляшов А.В., Мельник Е.А. Сейсмическое изучение верхней части разреза на участке семипалатинского ядерного испытательного полигона // Технологии сейсморазведки. – 2013. – № 3. – С. 64–75.

Akram J., Eaton D. A review and appraisal of arrival-time picking methods for downhole microseismic data // Geophysics. – 2016. – Vol. 81, No. 2. – P. KS71–KS91.

Natterer F. The Mathematics of Computerized Tomography. – Stuttgart, 1986. – 226 p.

Van Decar J. C., Crosson R. S. Determination of teleseismic relative phase arrival times using multi-level cross-correlation and least squares // Bulletin of the Seismological Society of America. – 1990. – No. 80. – P. 150–169.
Yilmaz Ö., Doherty S.M. Seismic Data Analysis: Processing, Inversion, and Interpretation of Seismic Data (Investigations in Geophysics, No.10). – SEG, Tulsa, 2001. – 2065 p.

Yilmaz Ö. Engineering Seismology with Applications to Geotechnical Engineering. – SEG: Tulsa, 2015. – 964 p. **Yu Z., He C., Hou G., Tan Y.** Arrival picking and refinement for microseismic events based on waveform crosscorrelation // International Geophysical Conference, Beijing, China, 24–27 April 2018. – Society of Exploration Geophysicists and Chinese Petroleum Society, 2018. – P. 1354–1357.

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

ЧЕРНЫШОВ Глеб Станиславович – младший научный сотрудник лаборатории динамических проблем сейсмики ИНГГ СО РАН. Основные научные интересы: методы построения скоростной модели верхней части разреза по сейсморазведочным данным, развитие метода лучевой активной томографии с целью повышения разрешающей способности метода.

КАРПУХИН Виктор Иванович – лаборант лаборатории динамических проблем сейсмики ИНГГ СО РАН. Основные научные интересы: автоматизирование процесса обработки сейсморазведочных данных МПВ, методы автоматического снятия времен первых вступлений, когерентного суммирования сейсмограмм, увязки годографов по взаимным временам.