



ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРЕЛОМЛЕННЫХ ВОЛН В ПОВЕРХНОСТНО-СОГЛАСОВАННЫХ ПРОЦЕДУРАХ КОРРЕКЦИИ ДИНАМИКИ

К.А. Хемраев

*Санкт-Петербургский горный университет,
199106, Санкт-Петербург, Васильевский остров, 21 линия, д. 2, Россия
e-mail: kerim.khemraev@mail.ru*

В настоящей работе с помощью лучевого моделирования рассматривается возможность трехфакторной декомпозиции поля амплитуд преломленных волн. В связи с тем, что решение, полученное на основе рассматриваемой математической модели, неустойчиво, предлагается условие его регуляризующее. Возможность применения рассматриваемой математической модели продемонстрирована в условиях рефракции и погруженных объектов.

Поверхностно-согласованная деконволюция, коррекция амплитуд, обработка, интерпретация, факторная декомпозиция

THE USE OF REFRACTED WAVES IN SURFACE-CONSISTENT PROCEDURES OF DYNAMIC CORRECTION

K.A. Khemraev

*Saint-Petersburg Mining University, 21-th line of Vasilevsky Island, 2, St Petersburg, 199106, Russia,
e-mail: kerim.khemraev@mail.ru*

In the given paper a three factor decomposition of the field of refracted waves is considered with help of ray-tracing. Due to the fact that the solution obtained on the basis of the mathematical model is unstable, a condition is proposed that regularizes the solution. The possibility of applying the considered mathematical model is demonstrated in case of refraction and buried objects.

Surface-consistent deconvolution, amplitude correction, processing, interpretation, factor decomposition

ВВЕДЕНИЕ

Стандартной процедурой коррекции динамических характеристик волнового поля является поверхностно-согласованная коррекция амплитуд (деконволюция), основанная на факторной декомпозиции поля амплитуд отраженных волн. В первую очередь, основной задачей этой процедуры является коррекция записи за неоднородность локальных условий возбуждения и приема. Если верхняя

часть разреза (ВЧР) характеризуется сильной изменчивостью мощности, литологического состава, включает погруженные объекты, то такая ВЧР может значительно искажать динамические характеристики регистрируемых волн и в этом случае целесообразно также учесть динамическое влияние ВЧР. Эта задача может решаться как с помощью отраженных, так и с помощью преломленных волн. В настоящей работе рассматривается возможность факторной декомпозиции поля амплитуд преломленных волн.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Решение прямой задачи

Решение прямой задачи включает следующие этапы:

- задание скоростной модели и модели коэффициентов затухания;
- выбор плана наблюдений;
- выполнение лучевого моделирования;
- расчет амплитуд зарегистрированных сигналов.

Здесь под затуханием понимается воздействие среды на амплитуду импульса пропорционально пройденному пути.

Рассматриваются три модели, изображенные на рис. 2, 7, 9. Размер сетки всех моделей составляет 5 м как по вертикали, так и по горизонтали. Выбранный план наблюдений для всех рассматриваемых в настоящей работе моделей является частным случаем плана «шестиугольник» (рис. 1). Минимальное удаление источник–приемник составляет 2500 м, максимальное удаление – 3500 м, шаг по источникам равен 50 м и равен шагу по приемникам, длина профиля – 16950 м. Всего на профиле 339 пунктов возбуждения и пунктов приема.

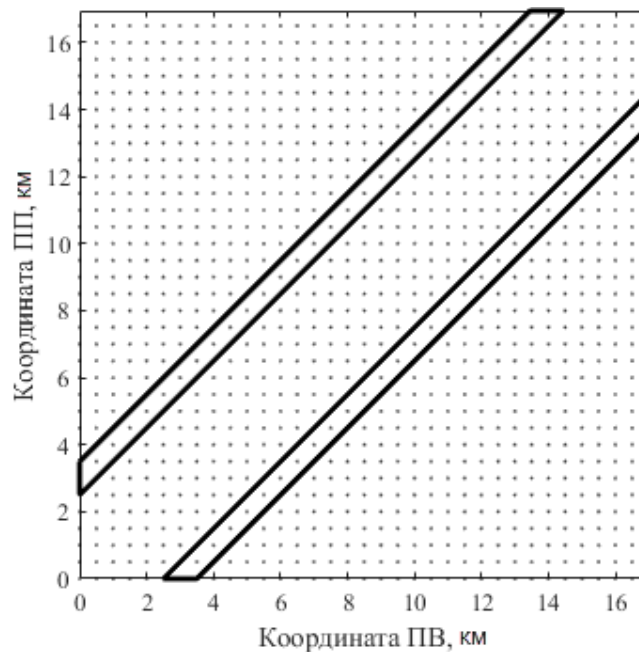


Рис. 1. Используемый план наблюдений

Лучевое моделирование первых вступлений основано на решении уравнения Эйконала для заданной скоростной модели. Затем методом градиентного спуска определяются траектории лучей, соответствующие минимальному времени пробега. Для решения этой задачи использовался набор программ (Toolbox Fast Marching), написанных французским ученым в области прикладной математики Gabriel Peyré в среде Matlab. Более подробно можно ознакомиться здесь [Peyré et al., 2010].

Вычисленные траектории лучей использовались для расчета воздействия среды на амплитуду единичного импульса, при этом, для устранения путаницы со знаками, влияние среды положительно. Геометрическое расхождение в настоящей работе не рассматривается.

Решение обратной задачи

Для описания распространения преломленных волн используется математическая модель, которая в линеаризованном виде представляется как:

$$f_{ij} = a_i + w_{\frac{i+j}{2}} \cdot |i - j| + b_j, \quad (1)$$

где f_{ij} – амплитуда импульса, зарегистрированного на j пункте приема (ПП) от i пункта возбуждения (ПВ); a_i – фактор условий возбуждения; $w_{\frac{i+j}{2}}$ – фактор удаления, относящийся к координате ОСТ $\frac{i+j}{2}$; $|i - j|$ – удаление источник–приемник; b_j – фактор условий приема.

На основе математической модели (1) составляется матрица T и решение ищется методом наименьших квадратов:

$$x = (T' \cdot T)^{-1} \cdot T' \cdot f_{ij},$$

где x – вектор искомых факторов.

В работе [Сысоев, 2012] сказано, что неединственность определения поверхностных факторов на основе математической модели (1) определяется постоянной составляющей. Данный результат подтверждается посредством определения ранга составленной матрицы T для заданного плана наблюдений.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Модель 1. Рефракция

Цель рассмотрения первой модели – установление возможности применения математической модели (1) для факторной декомпозиции поля амплитуд преломленных волн при наличии рефракции и криволинейных границ преломления.

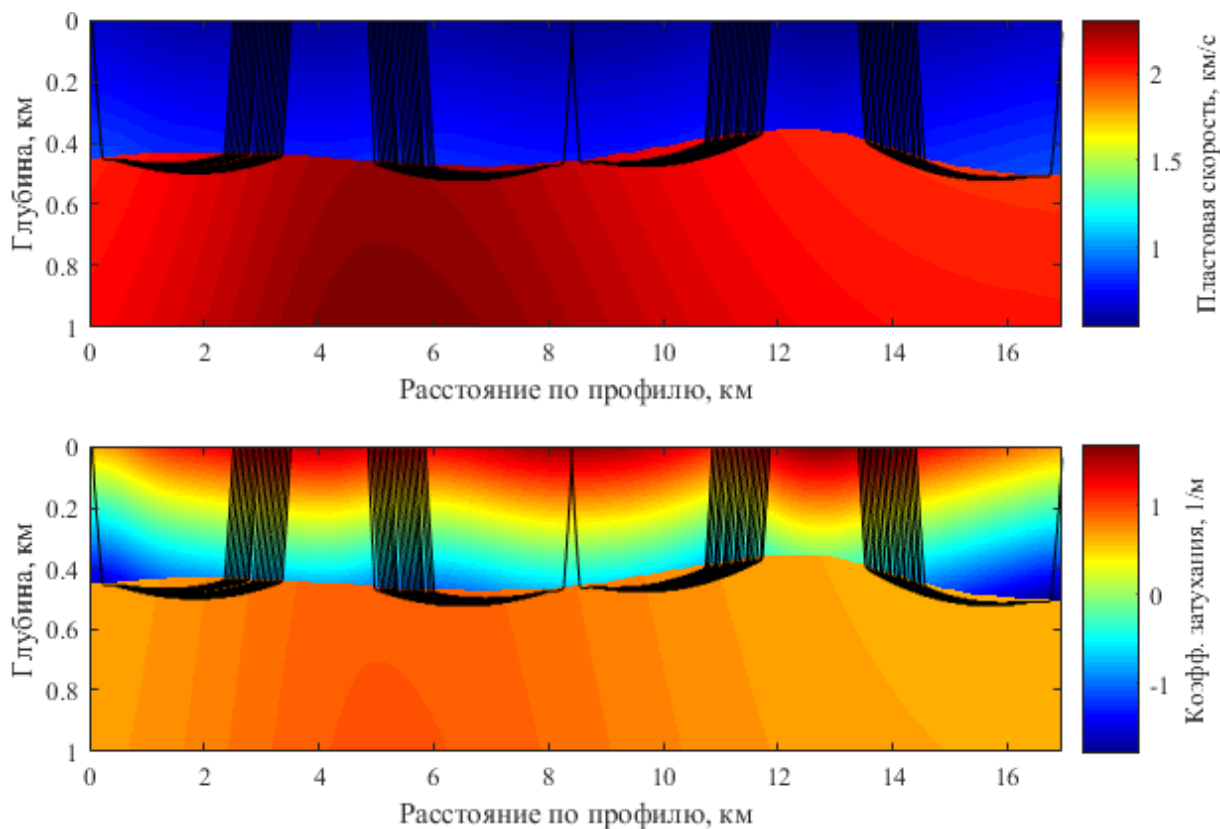


Рис. 2. Модель 1. Наличие рефракции

На рис. 2 показаны скоростная модель и соответствующая ей модель коэффициентов затухания с отображением траекторий лучей от нескольких ПВ. На рис. 3 представлен результат решения обратной задачи. Стоит пояснить, что заданные поверхностные факторы (совокупность факторов за условия возбуждения и за условия приема) в настоящей работе определялись по вертикали до преломляющей границы, а заданный фактор удаления – по кривой вблизи преломляющей границы внутри второго слоя. Также, в случаях, когда решение обратной задачи определено с точностью до постоянной составляющей, для лучшего отображения и сопоставления результатов эта постоянная составляющая искусственно добавлялась в рассчитанные факторы ПВ и ПП. В фактор удаления постоянная составляющая не добавлялась, так как у него отсутствует неединственность определения.

Очевидно (см. рис. 3), что ошибки определения поверхностных факторов имеют низкочастотные тренды. Более того, решение осложнено эффектом «дребезг» («зигзаг»). Эти проблемы связаны с плохой обусловленностью составленной СЛАУ.

Для борьбы с первой проблемой было решено использовать псевдоаприорную информацию [Митрофанов, 1988]. Предположение следующее: низкочастотные составляющие фактора ПВ и фактора ПП равны. В отсутствии неоднородности локальных условий возбуждения и приема, данное предположение вполне объективно.

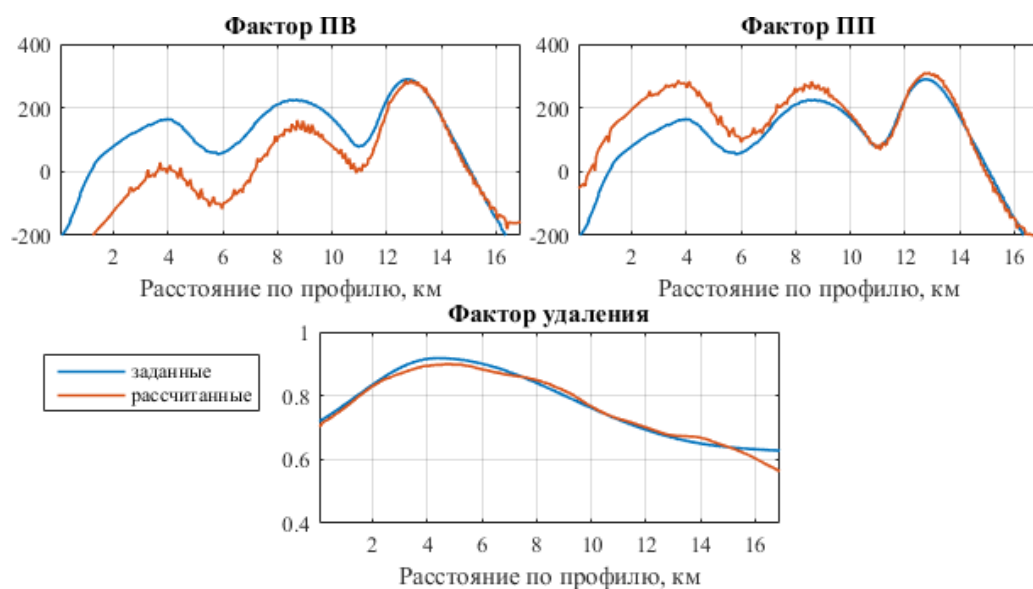


Рис. 3. Результат решения обратной задачи для модели 1

В настоящей работе низкочастотная составляющая выделяется методом скользящего среднего. Таким образом, матрица T дополняется числом уравнений, пропорциональному радиусу осреднения и длине профиля. При стремлении радиуса осреднения к единице, предположение о равенстве низкочастотных компонент вырождается в равенство факторов ПВ и ПП. Для рассматриваемых моделей радиус осреднения был установлен 100 ПВ (ПП).

Результат решения обратной задачи с применением псевдоаприорной информации изображен на рис. 4.

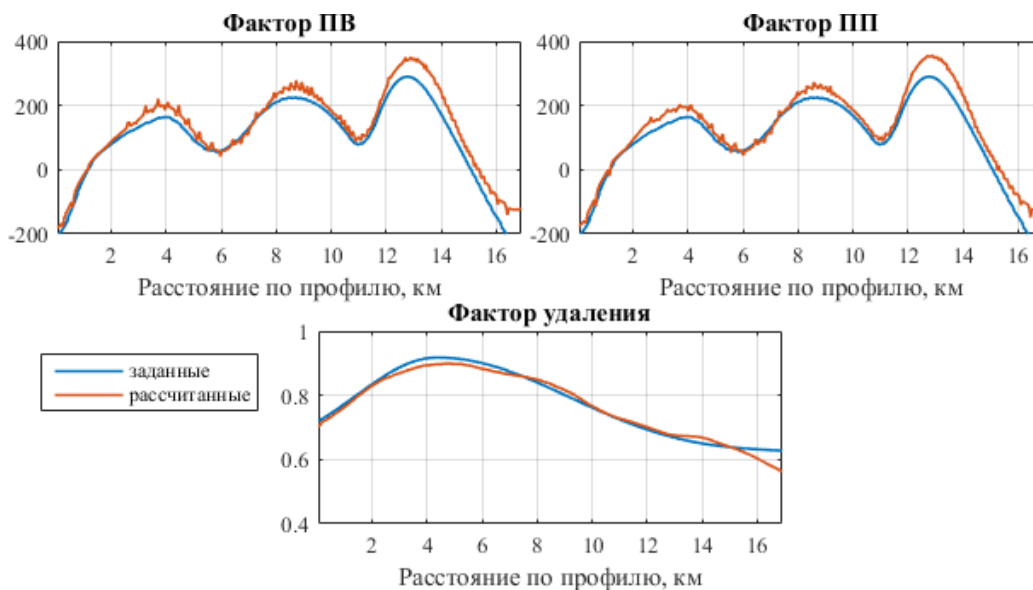


Рис. 4. Результат решения обратной задачи с применением псевдоаприорной информации

Расхождение между заданными и рассчитанными поверхностными факторами стало значительно меньше. Несмотря на то что матрица T перестала быть вырожденной, в общем случае искусственное условие о равенстве средних не позволяет «правильно» определить постоянную составляющую поверхностных факторов, а лишь в равных пропорциях распределяет ее между фактором ПВ и ПП.

В данном случае эффект «дребезг» не представляет проблемы, так как суммарное влияние поверхностных факторов может быть рассчитано через фактор удаления, который определен с достаточной точностью. Более подробно о способах борьбы с данным явлением изложено в работах [Козырев и др., 2003; Сысоев, 2005].

Модель 1. Добавление локальных условий возбуждения и регистрации

В реальном эксперименте, кроме влияния ВЧР, динамика волн зависит от локальных условий возбуждения и регистрации, которые всегда не равны между собой. Предположим, что локальные условия регистрации представлены белым шумом с нулевым средним, а локальные условия возбуждения для лучшего сравнения результатов оставим без изменения.

Результат решения, изображенный на рис. 5, подтверждает утверждение, сделанное в работе [Митрофанов, 1986], локальные условия возбуждения и регистрации могут быть объединены с характеристикой ВЧР. Кроме того, полученное решение достаточно точное.

Теперь предположим, что локальные условия регистрации представлены высокочастотной функцией с низкочастотным трендом.

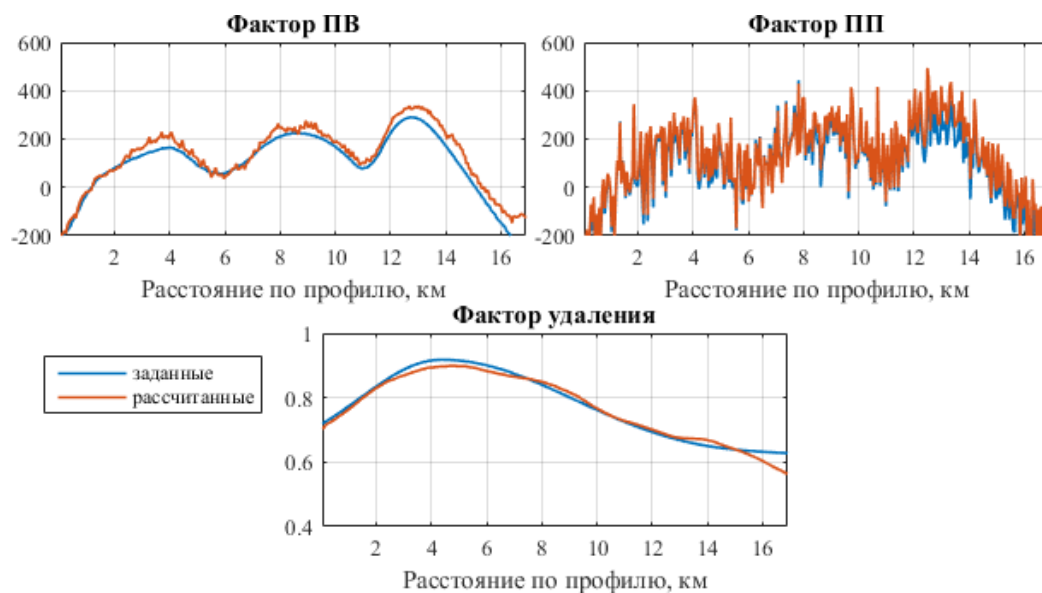


Рис. 5. Решение обратной задачи с применением псевдоаприорной информации при наличии локальных условий регистрации

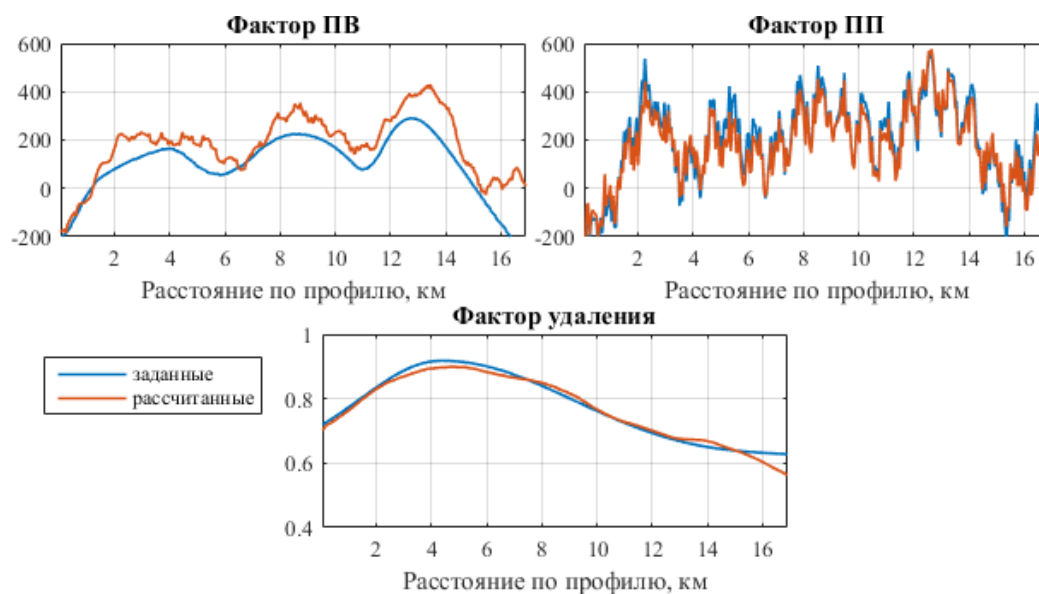


Рис. 6. Решение обратной задачи с применением псевдоаприорной информации при наличии локальных условий регистрации с низкочастотным трендом

Результат вполне ожидаемый, невыполнение искусственно наложенного условия о равенстве низкочастотных составляющих, приводит к перераспределению факторов ПВ и ПП.

Модели 2 и 3. Наличие погруженных объектов

Цель рассмотрения второй и третьей моделей – установить, как влияет наличие высокоскоростного объекта с повышенными значениями коэффициента затухания в ВЧР и во втором слое.

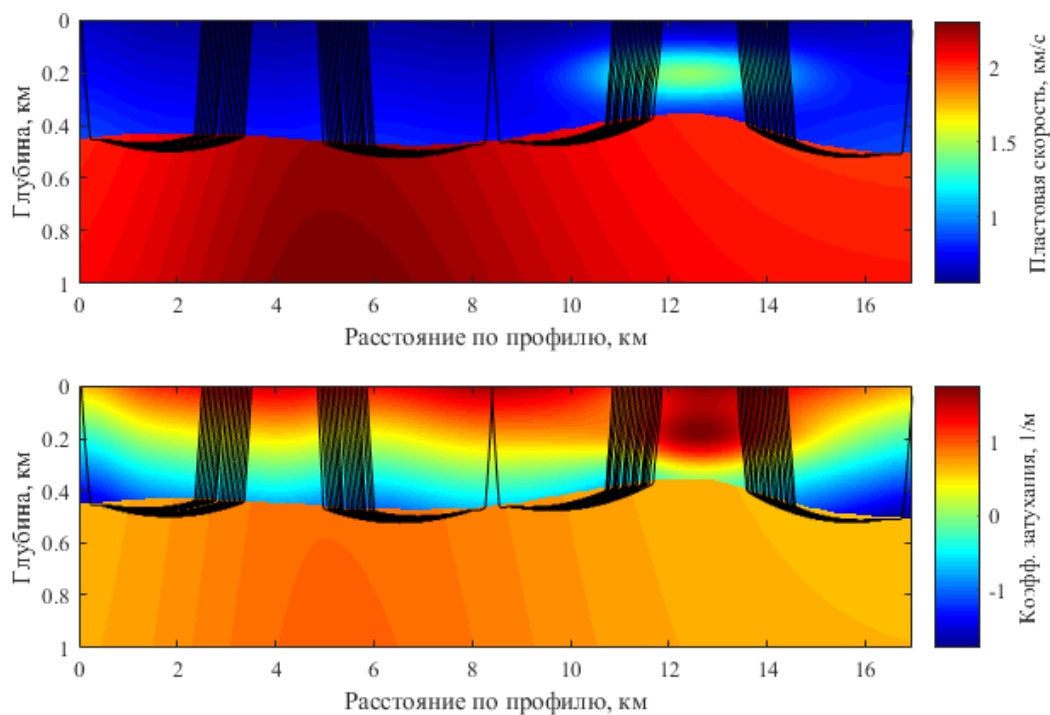


Рис. 7. Модель 2. Объект в ВЧР

Решение обратной задачи с привлечением псевдоаприорной информации показывает увеличение ошибки определения поверхностных факторов в области объекта (рис. 8). Эта ошибка, наиболее вероятно, связана с тем, что заданные поверхностные факторы определены по вертикали, а так как объект характеризуется повышенными значениями коэффициента затухания, отклонение реальной траектории лучей от вертикальной приводит к большим ошибкам по сравнению с другими участками рассматриваемого профиля.

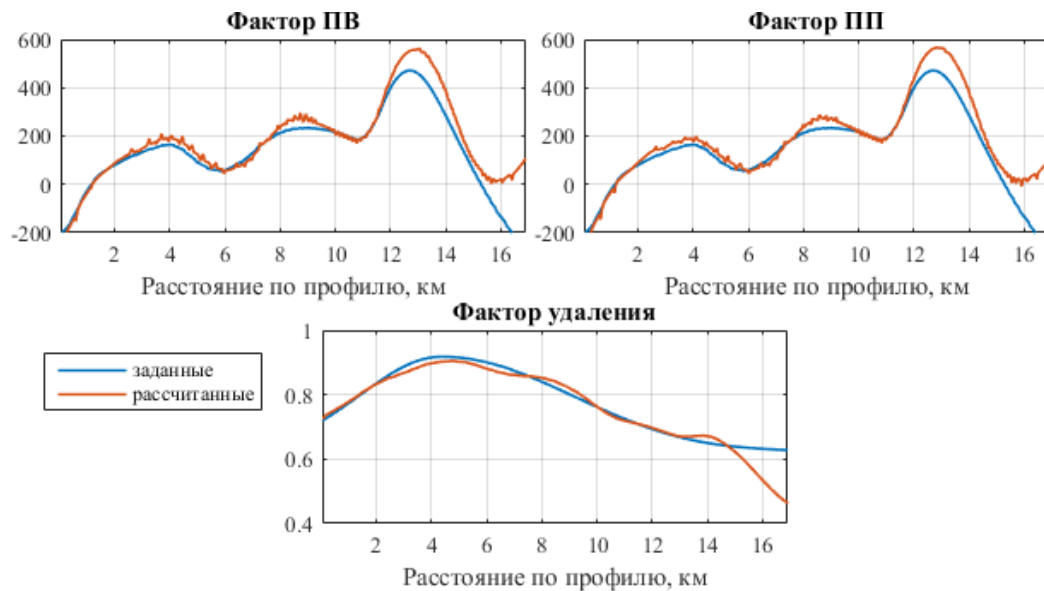


Рис. 8. Результат решения обратной задачи для модели 2

Теперь перенесем этот объект во второй слой.

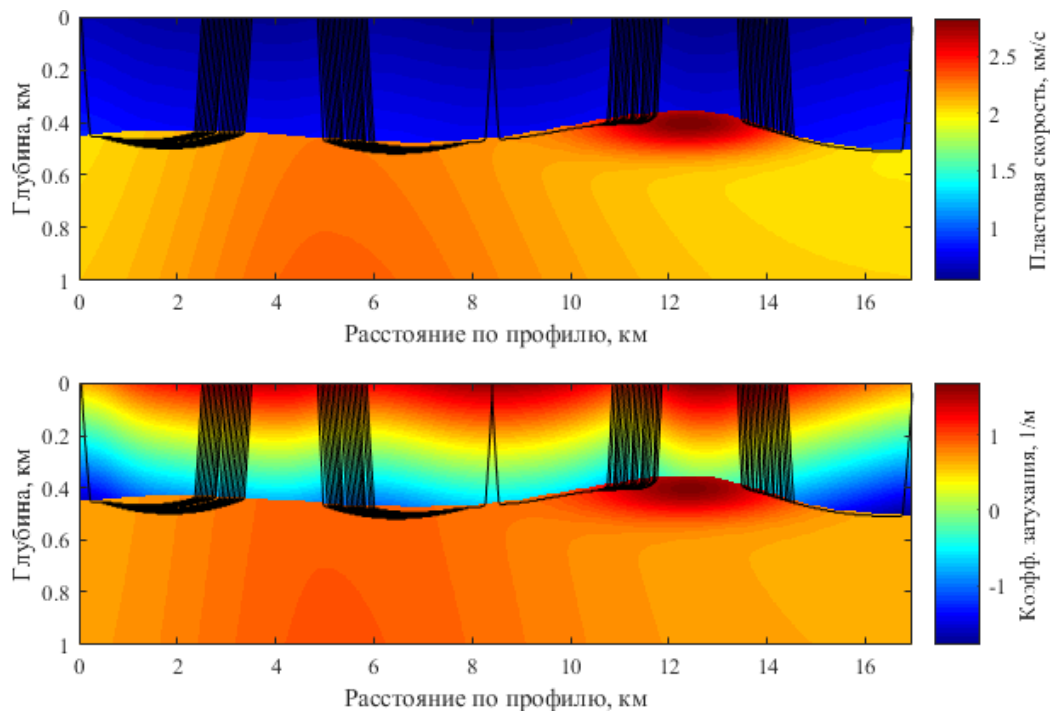


Рис. 9. Модель 3. Объект во втором слое

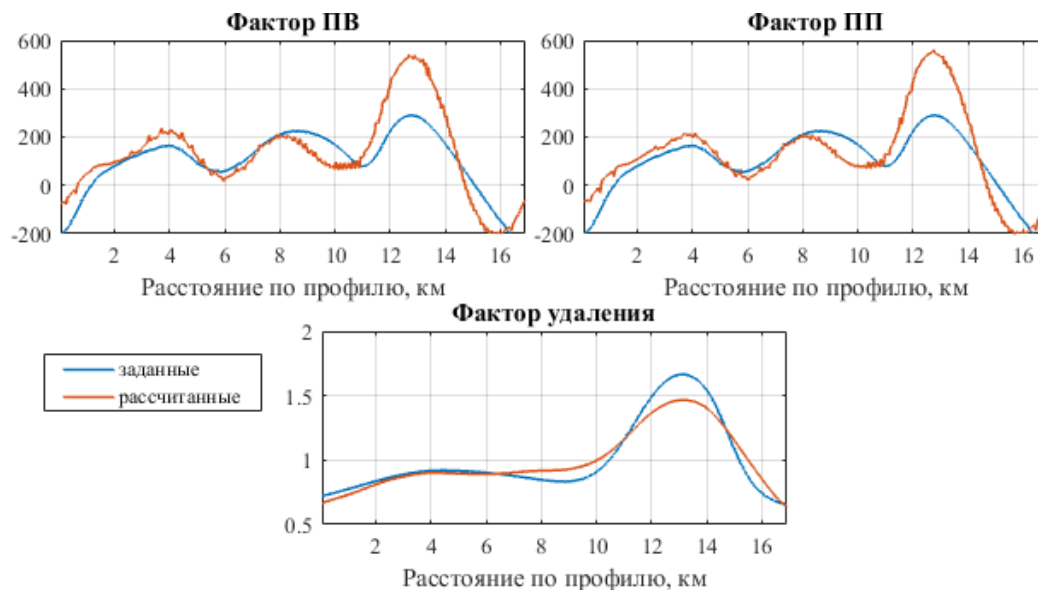


Рис. 10. Результат решения обратной задачи для модели 3

Результат решения обратной задачи для модели 3 представлен на рис. 10.

Значительное отличие решения обратной задачи модели 3 от моделей 1 и 2 заключается в том, что стала очевидна ошибка в определении фактора удаления, которая согласуется по координатам с ошибкой в поверхностных факторах. Так проявляется перераспределение факторов, вызванное «грубостью» математической модели (1), которая предполагает постоянство коэффициента затухания в пределах одной ОСТ, а на практике это условие не выполняется. Подобные результаты приведены в работе [Хемраев, 2017].

ВЫВОДЫ

Предложенная трехфакторная математическая модель, подразумевающая линейную зависимость фактора удаления от расстояния источник-приемник, может успешно использоваться при решении задачи факторной декомпозиции поля амплитуд преломленных волн, при этом рефракция и криволинейные границы слабо влияют на результат решения. Показано, что в случае резкого изменения свойств пород, определяющих затухание сигнала во втором слое, решение обратной задачи может значительно искажаться. При наличии неоднородностей в ВЧР (в верхнем слое) результат факторной декомпозиции достаточно точный. Рассчитанные поверхностные факторы могут использоваться для учета суммарного влияния ВЧР и локальных условий возбуждения и регистрации на динамические характеристики регистрируемых волн.

ЛИТЕРАТУРА

Козырев В.С., Жуков А.П., Коротков И.П., Жуков А.А., Шнеерсон М.Б. Учет неоднородностей верхней части разреза в сейсморазведке. – М.: Недра, 2003. – 227 с.

Митрофанов Г.М., Сергеев В.Н. Исследование линеаризованной модели для головной волны в связи с задачей обработки данных КМПВ // Геология и геофизика. – 1986. – № 8. – С. 98–108.

Митрофанов Г.М. Псевдоаприорная информация в задаче коррекции частотно-зависимой статики // Математические проблемы интерпретации данных сейсморазведки. – Новосибирск: Наука, 1988. – С. 149–168.

Сысоев А.П. Технология построения объемных сейсмогеологических моделей по данным разномасштабной сейсморазведки: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. – Новосибирск: ОАО «Сибнефтегеофизика», 2005. – 255 с.

Сысоев А.П. Анализ неединственности решения задачи расчета оператора поверхностно-согласованной деконволюции // Технологии сейсморазведки. – 2012. – № 3. – С. 27–30.

Хемраев К.А. Анализ трехфакторной модели отраженных волн в задаче коррекции амплитуд // Технологии сейсморазведки. – 2017. – № 4. – С. 72–80.

Peyré G., Péchaud M., Keriven R., Cohen L.D. Geodesic methods in computer vision and graphics // Foundations and trends in computer graphics and vision – 2010. – Vol. 5, No. 3–4. – P. 197–397.

КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

ХЕМРАЕВ Керим Акмамедович – аспирант Санкт-Петербургского горного университета, научный руководитель д.г.-м.н. А.Н. Телегин. Область научных интересов: динамическая обработка сейсмических материалов.