

Опыт реализации инженерной сейсмической томографии со сверхмалым шагом приёма

- Романов В.В., Российский государственный университет нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина, г. Москва.
- Кауркин М.Д., Крячков И.В., Бабуркин И.А., Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН, г. Москва.

Аннотация: статья посвящена анализу результатов сейсмотомографии, выполненной с шагом 10 см в летнее и зимнее время.

Ключевые слова: инженерная сейсморазведка, сейсмотомография, малый шаг приёма.

Введение

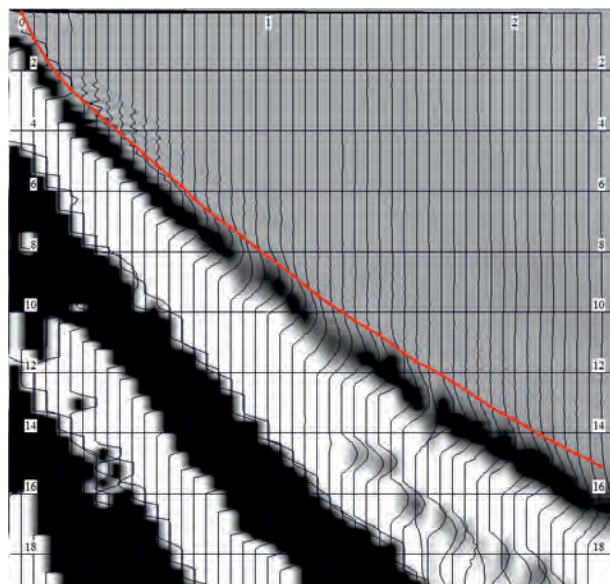
Рефрагированные волны образуются в средах с градиентом скорости, они характерны для кровель пластов, в том числе и приповерхностного. Прослеживаются рефрагированные волны в первых вступлениях, их годограф имеет форму гладкой кривой линии, выпуклой в направлении оси времени (Рисунок 1).

В нефтегазовой (глубинной) сейсморазведке рефрагированные волны применяются редко, их использование ограничивается в основном изучением верхней части разреза для последующего ввода статических поправок. По временам вступления рефрагированных волн и координатам пунктов приёма выполняется кинематическая инверсия — определяется скоростной закон с

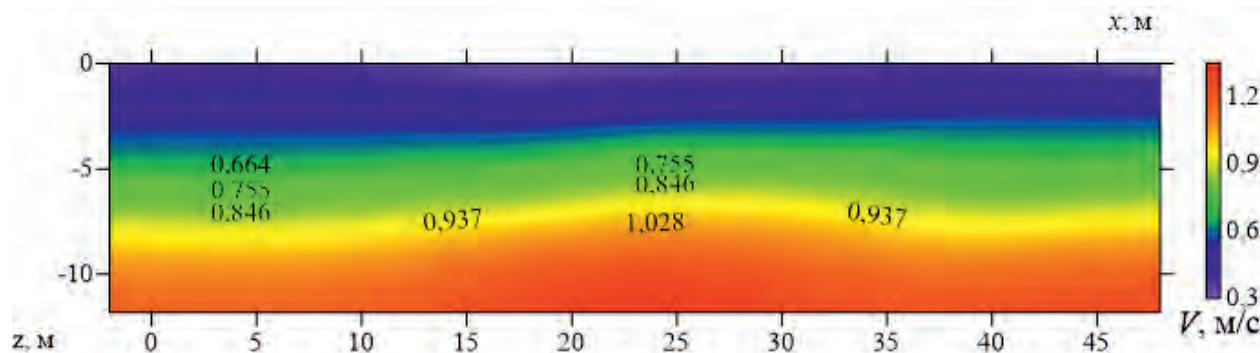
непрерывным изменением истинной скорости.

В одномерном варианте инверсия производится по каждому годографу первых вступлений, её результаты относятся к пунктам возбуждения. Для выполнения одномерной кинематической инверсии применяются способ Кондратьева или более точный способ Чибисова. Истинные скорости на глубине максимального проникновения луча рефрагированной волны находятся по наклону годографа в пункте приёма, а по распределению скоростей и координатам пунктов приёма восстанавливаются глубины точек поворота лучей. Для обоих способов необходимо, чтобы истинная скорость монотонно возрастала с глубиной, а способ Чибисова также требует, чтобы обрабатываемый годограф был полным, то есть включал удаления от нуля (пункт возбуждения) до максимального. К недостаткам одномерной инверсии относятся ручная корреляция и обособленная обработка большого количества годографов [Зеркаль, Хогоев, 2008].

Двухмерная инверсия системы годографов рефрагированных волн и соответствующая решению этой задачи система наблюдений получили название сейсмической томографии, здесь совокупность времён вступления рассматривается как единый массив данных и реализуется их совместная обработка [Шишкина и др.,



▲ Рис. 1. Годограф рефрагированной волны.



▲ Рис. 2. Результат двухмерной инверсии системы годографов рефрактированной волны.

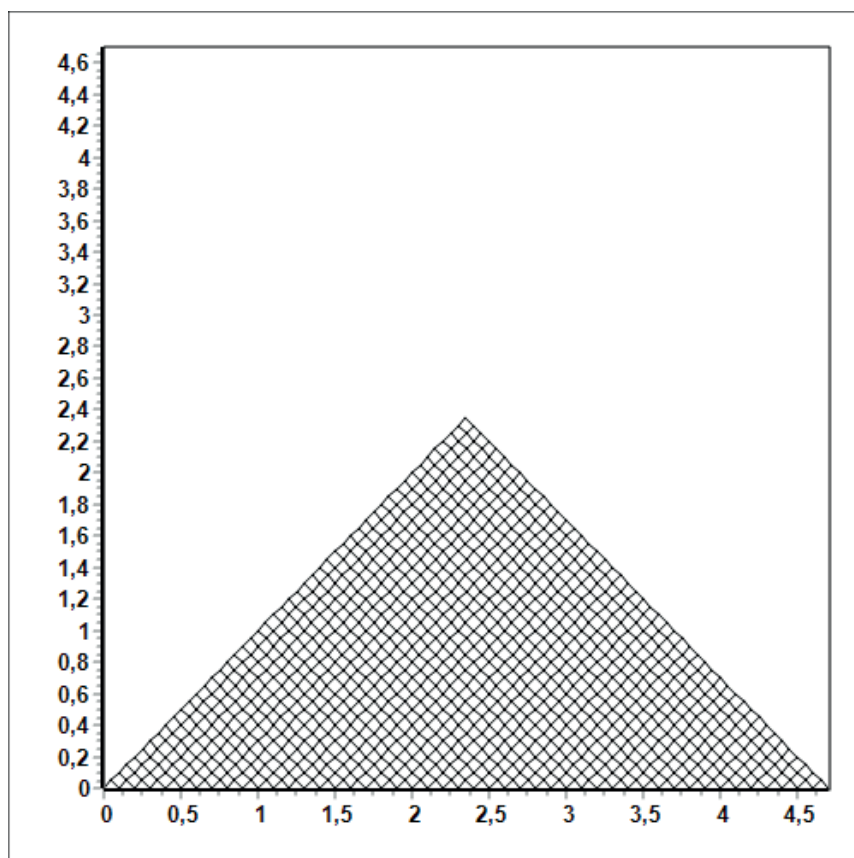
2015]. Результатом кинематической инверсии является распределение истинной скорости по латерали и глубине, то есть по структуре это плоское цветное изображение (Рисунок 2).

Разрешающая способность сейсморазведки во многом определяется шагом приёма. В инженерной сейсморазведке чаще всего применяется шаг приёма 2 м, что часто неоптимально с точки зрения выделения маломощных горизонтов в верхней части разреза [Романов и др., 2024]. В статье рассматривается опыт реализации инженерной сейсмотомо-

графии (СТ) со сверхмалым (10 см) шагом приёма в летнее и зимнее время.

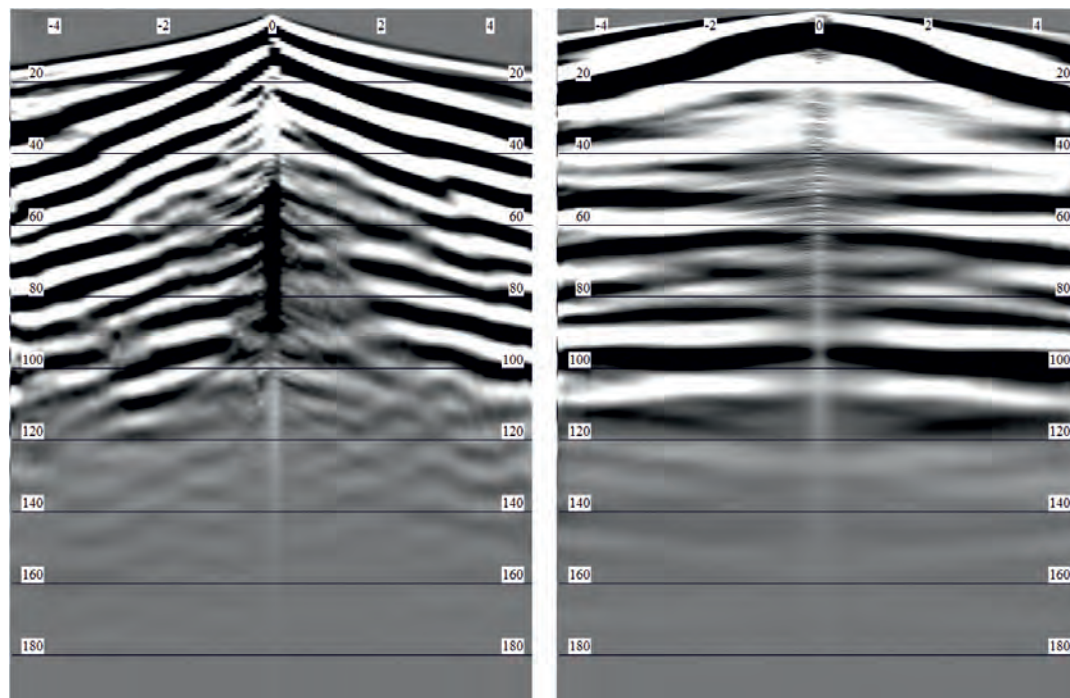
Результаты выполнения сейсмотомографии

Для реализации сейсмотомографии со сверхмалым шагом приёма авторами была создана приёмная линия длиной 4,7 м, состоящая из 48 пунктов приёма с шагом 0,1 см. Источник продольных и поперечных волн (удары лёгким молотком по металлической пластине) поочередно располагался в каждом пункте приёма (Рисунок 3).



◀ Рис. 3. Система наблюдений со сверхмалым шагом приёма на обобщённой плоскости.

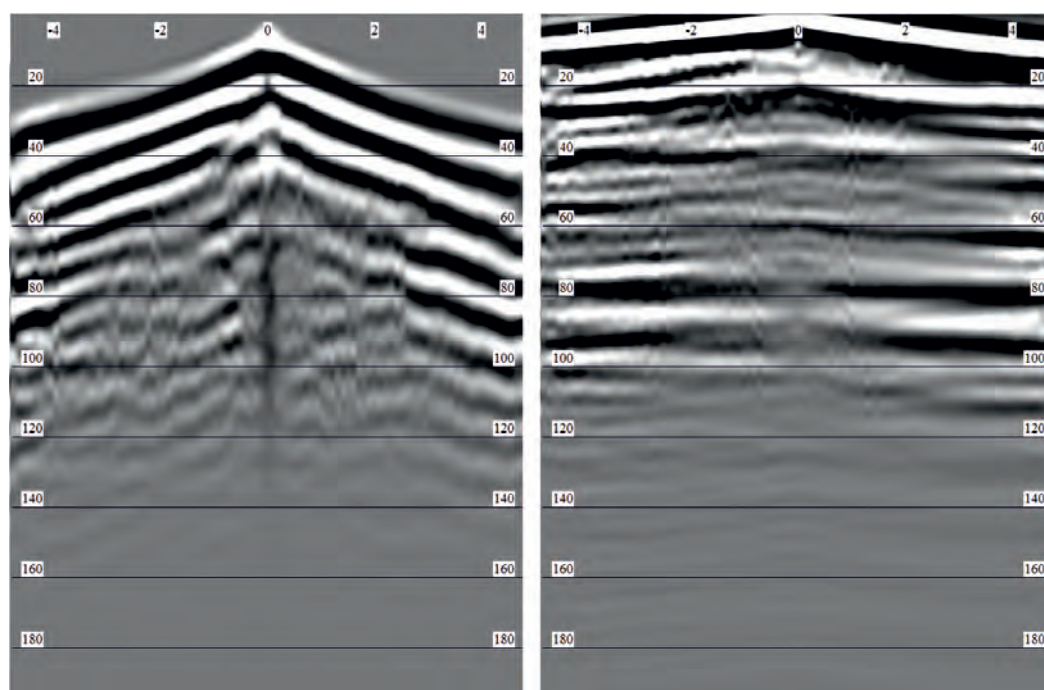
► Рис. 4. Сейсмограммы продольных волн (схема Zz) в летнее (слева) и зимнее (справа) время.



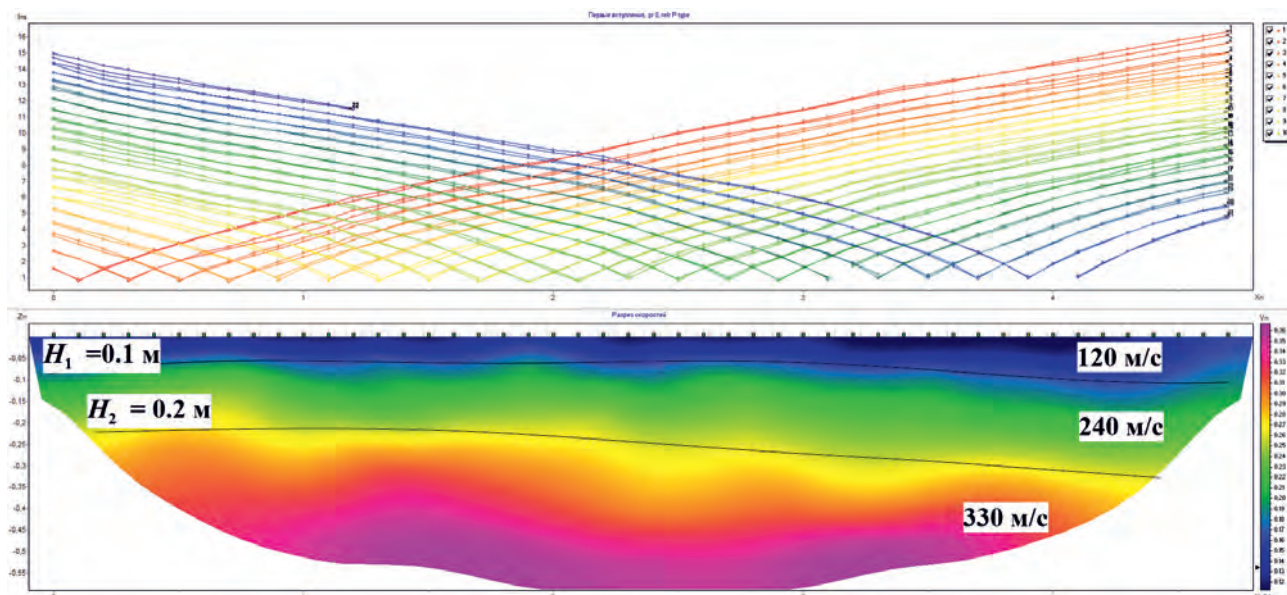
Глубинность сейсмотомографии определяется максимальным удалением (дистанцией) применяемых расстановок.

Глубинность сейсмотомографии и метода преломлённых волн равна $1/4$ – $1/6$ от максимальной дистанции расстановки, поэтому применяемая система позволила детально изучить первые 0,8–1,2 м разреза.

На профиле, расположенном на открытой грунтовой поверхности, сейсморазведочные работы были выполнены два раза — в августе 2024 года и феврале 2025-го. В очередной раз подтвердился тезис о существенном влиянии промерзания первого слоя разреза на волновое поле [Скворцов и др., 2011]. На рисунках 4 и 5 показаны сейсмограммы, полученные на продольных и попе-



◄ Рис. 5. Сейсмограммы поперечных волн (схема Yy) в летнее (слева) и зимнее (справа) время.



▲ Рис. 6. Система годографов и результат инверсии сейсмотомографии.

речных волнах.

Рефрагированные волны в первых вступлениях прослеживались только на “летних” сейсмограммах, зимой наблюдались только высокоскоростные прямые волны и отражения в последующих вступлениях. У прямых волн отмечалась существенная дисперсия скорости. Преобладающая частота объёмных волн из-за применения достаточно слабого источника колебаний составляла 100–120 Гц.

В результате инверсии полученной системы годографов первых вступлений в программе Zond 2DST (автор Каминский А.Е.) было определено двумерное непрерывное распределение истинной скорости. На рисунке 6 продемонстрирован скоростной разрез, полученный в летнее время на продольных волнах. С их помощью удалось установить трёхслойное строение грунтовой толщи на глубину до 0,5 м. Выбор сверхмалого шага приёма позволил существенно повысить разрешающую способность сейсмотомографии и выделить низкоскоростные слои, пропускаемые при инверсии данных, полученных с большим шагом.

Выводы

В результате анализа выполненной сейсмотомографии было установлено, что при переходе на сверхмалый шаг приёма удаётся выделять слои толщиной 0,1–0,2 м на глубинах менее 1 м. При реализации сейсмотомографии такого рода следует уменьшать энергию источника и использовать меньшие шаги дискретизации (0,125–0,250 мс).

Литература

1. Зеркаль С. М., Хогоев Е. А. Кинематическая сейсмотомография с использованием площадной системы наблюдений // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2008. – Т. 5. – С. 147-152.
2. Романов В. В. И др. Опыт выполнения многоволновой инженерной сейсморазведки со сверхмалым шагом приема / В. В. Романов, М. Д. Кауркин, И. В. Крячков, И. А. Бабуркин // Приборы и системы разведочной геофизики. – 2024. – № 3(82). – С. 70-73. – EDN SRXOYI.
3. Скворцов А. Г., Царев А. М., Садурдинов М. Р. Методические особенности изучения сейсмогеокриологического разреза // Криосфера Земли. – 2011. – Т. 15. – №. 4. – С. 110-113.

4. Шишкина М. А., Фокин И. В., Тихоцкий С. А. К вопросу о разрешающей способности межскважинной лучевой сейсмической томографии // Технологии сейсморазведки. – 2015. – Т. 1. – С. 5-21.

Подробнее об авторах



РОМАНОВ
Виктор Валерьевич

Доцент кафедры разведочной геофизики и компьютерных систем факультета геологии и геофизики нефти и газа Российского государственного университета нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина, к.т.н.



КАУРКИН
Михаил Дмитриевич

Ведущий научный сотрудник лаборатории инженерной геофизики и сейсмического микрорайонирования Института геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН, к.т.н.



КРЯЧКОВ
Иван Вячеславович

Инженер лаборатории инженерной геофизики и сейсмического микрорайонирования федерального государственного бюджетного учреждения науки, Института геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН.



БАБУРКИН
Иван Александрович

Инженер лаборатории инженерной геофизики и сейсмического микрорайонирования федерального государственного бюджетного учреждения науки, Института геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН.