

Опыт применения малогабаритного источника и бескабельной системы регистрации для изучения ВЧР и неглубоко залегающих объектов

- Турчков А.М., Ошкин А.Н., ООО «Неоген», МГУ им. Ломоносова, г. Москва
- Коротков И.П., МГУ им. Ломоносова, г. Москва
- Воронцов В.В., ООО «Геоспейс Технолоджис Евразия», г. Уфа
- Череповский А.В., АО «Росгеология», г. Москва

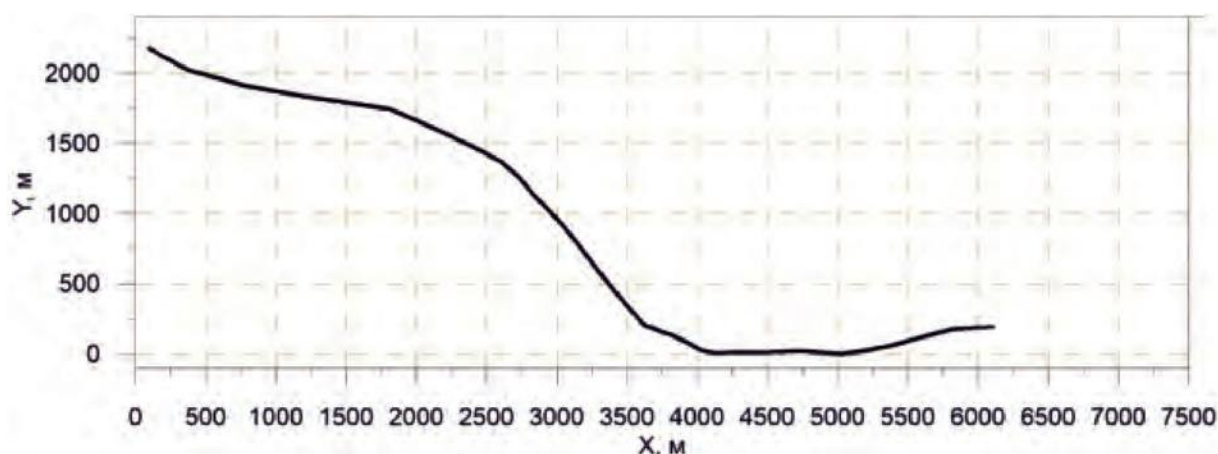
Введение

Подавляющий объем сейсморазведочных работ (СРР) традиционно выполняется с целью поисков и разведки месторождений нефти и газа, и необходимая глубина исследований при этом обычно лежит в интервале от 1 до 3–4 км и более. В то же время в последние годы увеличиваются объёмы и роль как инженерной сейсмики (глубины исследований до 100 м), так и малоглубинной сейсмики (глубины исследований до 1 км). Раньше малоглубинную сейсмику связывали, прежде всего, с угольными месторождениями, но теперь её роль растёт благодаря резкому повышению спроса на цветные и щелочные металлы (необходимые для производства аккумуляторов и солнечных панелей) и другие твёрдые полезные ископаемые (ТПИ). Также новым важным направлением для малоглубинной сейсморазведки может стать поиск подземных резервуаров для закачки углекислого газа (CO₂) и последующего мониторинга результатов его закачки. Это часть обширной программы по декарбонизации нефтегазовой отрасли и снижению её влияния на окружающую среду.

Различная глубинность перечисленных видов сейсмических исследований, естественно, предопределяет выбор наиболее эффективных аппаратно-методических решений, касающихся не столько регистрирующего оборудования, сколько источников сейсмических сигналов. Наибольшие объёмы СРР на нефть и

газ выполняются с вибрационными и взрывными источниками, и в меньшей степени – с электромагнитными импульсными источниками (ЭМИИ) типа «Енисей» или «Геотон» [1]. Для инженерной сейсморазведки в подавляющем большинстве случаев используются источники ударного типа. Самым популярным источником данного типа является строительная кувалда, которая относится к маломощным источникам, но этого обычно достаточно, чтобы закрыть потребности инженерной сейсморазведки.

Наиболее сложным является выбор источника колебаний для малоглубинной сейсморазведки. Конечно, здесь могут применяться обычные тяжёлые источники, применяемые при нефтегазовых СРР – это виброустановки, бурстанки и ЭМИИ, в лесных регионах требующие прокладки просек шириной до 4–5 м, что всё чаще становится неприемлемым из-за ужесточающихся экологических требований. Применение лёгких одиночных виброисточников и узких бурстанков позволяет частично решить эту проблему и уменьшить ширину просек для линий возбуждения до 2,5–3,0 м. Но в случае полного запрета на рубку леса и на повреждение почвенного слоя сейсморазведчикам приходится планировать криволинейные линии возбуждения в обход крупных деревьев и использовать компактные источники колебаний, которые буксируются не тракторами и бульдозерами, а внедорожными автомо-



▲ Рис. 1. Плановое положение профиля 2Д.

биями летом или снегоходами зимой, или даже могут переноситься вручную в условиях сложной орографической в районе работ [3].

Как наиболее подходящие для малоглубинных и экологосберегающих СРР могут рассматриваться ударные источники типа «падающий груз». Разумеется, ударные источники такого типа имеют гораздо более низкую мощность, чем ЭМИИ, но этот недостаток можно компенсировать сокращённым шагом наблюдений по линиям возбуждения (5 или 10 м), что обеспечит высокую кратность наблюдений МОГТ и, соответственно, высокое качество результирующих сейсмических материалов на достаточно больших глубинах [4].

В настоящей работе приведены результаты малоглубинных сейсморазведочных работ 2Д, выполненных в районе полигона отделения геофизики геологического факультета МГУ в д.Александровка (Юхновский район Калужской области). Целью данной работы являлось опробование бескабельной системы «GSX» (производство компании «Geospace Technologies») [5] и малогабаритного источника типа «падающий груз» ESS-200. Работы проводились методом отражённых продольных волн. Дополнительно на профиле был отработан участок на обменных волнах типа Р-S.

Методика производства работ

Криволинейный сейсморазведочный профиль 2Д располагался вдоль лесной дороги возле базы отделения геофизики геологического факультета МГУ на территории национального парка Угра (Юхновский район, Калужская область). Плановое положение профиля приведено на рисунке 1.

Параметры методики работ по двум схемам наблюдений (Z-Z, Z-X) приведены в таблице 1.

В качестве источника возбуждения продольных волн использовался сейсмический источник ESS 200 (Electric Seismic Source 200 lb, рис.2), представляющий собой источник типа падающий груз, смонтированный на автомобильном

▼ Табл. 1. Параметры методики работ.

Схема наблюдений	Z-Z	Z-X
Размерность наблюдений	2D	
Шаг ППВ, м	10	
Шаг ППП, м	10	
Количество ППП в активной расстановке	160	
Всего активных расстановок	9	1
Длина активной расстановки, м	1590	
Максимальное удаление, м	1585	
Перекрытие, м	790	0
Количество накоплений на одном ППВ	10	
Максимальная кратность	187	
Размер бина, м	5	
Общая длина профиля, м	7190	1590
Общее кол-во ППВ	720	160



▲ Рис. 2. Сейсмический источник ударного типа ESS 200.

прицепе. Ударной частью источника является колонна весом 90 кг (200 фунтов). В момент дистанционной инициализации возбуждения колонна поднимается на высоту $\approx 0,5$ м и под тяжестью собственного веса ударяется о металлическую плиту, прижатую к поверхности земли. Для увеличения ускорения падения и для ослабления подскока колонны в источнике используется толстый резиновый жгут. Работает источник от аккумулятора 12 В. Электронная часть прибора содержит триггер для точной отметки момента возбуждения.

Приём колебаний осуществлялся с помощью электродинамических сейсмоприемников GS-One с горизонтальной (X-компонента) и вертикальной (Z-компонента) осями максимальной чувствительности. Собственная частота сейсмоприемников – 10 Гц.

Регистрация колебаний производилась с помощью бескабельной системы «GSX» (производство компании «Geospace Technologies»). Комплект бескабельной системы состоит из произвольного числа полевых блоков регистрации, внешних аккумуляторных батарей для блоков регистрации и полевого терминала «LineViewer LV» [5]. Регистратор «GSX» оснащён GPS-приёмником для позиционирования каждого автономного модуля и точного отсчёта времени.

Каждый полевой регистратор обеспечивает получение данных с сопряжённого одиночного геофона GS-One. Полевой терминал предназначен для сбора служебных данных о работе регистраторов с целью обеспечения их штатной работы.

Следует отметить, что использование бескабельных систем регистрации является оптимальным при изучении малых глубин (до 1 км). При такой глубинности исследований требуются приёмные линии длиной более 1 км. Портативные линейные и телеметрические станции («Эллисс», «Лакколит», «SGD» и т.д.), повсеместно используемые в сейсморазведке для целей инженерных изысканий, рассчитаны на работу с приёмными линиями до 200 м. Использование таких станций с длинами приёмных линий более 500 м требует дополнительной модернизации. В то же время, использование кабельных систем, применяемых для глубинной сейсморазведки (Sercel), представляется слишком громоздким: шаг пунктов приёма по кабелю бывает редко меньше 25 метров (обычно 50), блок центральной электроники занимает относительно много места (требуется организация стационарного рабочего места для оператора).

Применение бескабельной системы позволило сократить до минимума число полевых рабочих. Для перемотки, установки и наладки активной расстановки бескабельной системы использовалась одна бригада из 5 человек. В качестве транспортного средства использовался автомобиль-пикап, в кузов которого помещалась вся приемная расстановка. Рабочий момент производства работ с бескабельной системой приведён на рис.3.



◀ Рис. 3.
Бескабельная
приёмная
расстановка
в кузове пикапа.

Обработка данных монотипных волн

Задачами обработки являлись получение временных и глубинных сейсмических разрезов с шагом суммарных трасс 5 м по горизонтали, пригодных для детальной геологической интерпретации до глубин около 1 км. Часть профиля была получена с двухкомпонентной регистрацией, поэтому предполагалось также оценить возможность использования горизонтальной компоненты (X) волнового поля для построения разреза обменных волн типа P-S, что позволило бы произвести расчет соотношений скоростей V_p/V_s для одноименных отражающих горизонтов, выделяемых как на разрезах продольных волн, так и на разрезах обменных волн.

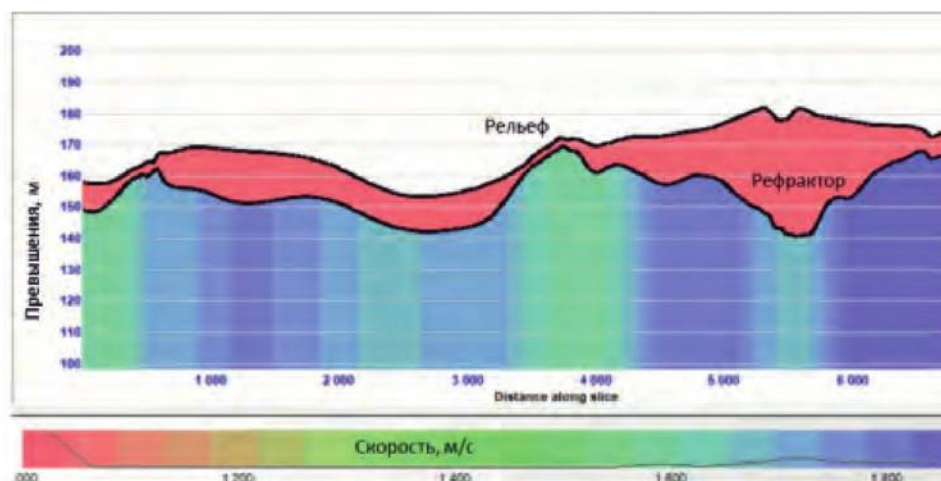
Основными проблемами, которые приходилось решать на этапе обработки, являлись учет неоднородной верхней части разреза (ВЧР), выделение сигнала на фоне помех при низком соотношении сигнал/шум, а также обработка горизонтальной компоненты при ограниченных системой наблюдений удалениях взрыв – прибор (в среднем не более 700 м).

Последовательность обработки продольных волн включала в себя расчет

модели ВЧР по первым вступлениям, статпоправки по преломленным волнам, деконволюцию, интерактивные итерации статических и кинематических поправок, шумоподавление, суммирование по ОГТ, а также улучшение разреза после суммирования. Глубинный разрез был получен пересчетом временного разреза по скоростям суммирования.

Обработка обменных волн состояла из ориентации горизонтальной компоненты (X) на источник, применение масштабированных статических поправок, определенных по продольным волнам, асимптотического бинирования, шумоподавления, нескольких итераций остаточных статических и кинематических поправок и суммирования с последующим улучшением полученного разреза обменных волн. Фрагменты разрезов продольных и обменных волн визуально сопоставлялись для идентификации одноименных интервалов и оценки интервальных значений V_p/V_s . Среднее значение $V_p/V_s = 2,8$, и после предварительной оценки оно использовалось в обработке обменных волн для масштабирования статпоправок за пункты приема и для асимптотического бинирования.

► Рис. 4.
Модель
скоростей ВЧР,
рассчитанная
по первым
вступлениям
Р-волн.



По результатам инверсии первых вступлений Р-волн была получена однослойная модель ВЧР, показанная на рис.4.

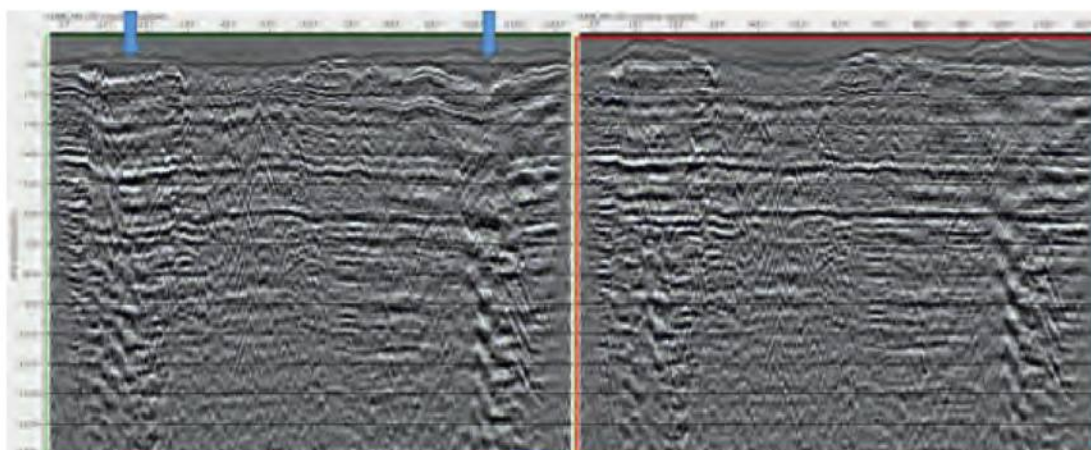
Модель использовалась для расчета статических поправок, приводящих наблюдаемые данные к уровню 200 м над уровнем моря со скоростью замещения 1500 м/с. Для наиболее полного учета низкоскоростных неоднородностей при расчете поправок задавался промежуточный уровень расчета 140 м, который располагался ниже самой глубокой точки рефрактора из модели (рис.4). На рис.5 показаны разрезы после применения статики за рельеф (слева) с постоянной скоростью замещения 1500 м/с и результат применения рефракторной статики (справа). На данном этапе

были учтены две крупные статические аномалии в левой и правой части профиля, помеченные стрелками на рис.5 (слева).

На рис.6. показана интерактивная панель скоростного анализа, на которой видно характерное распределение скоростей суммирования по вертикали (сембланс, справа).

На рис.7 показаны сейсмограммы ОГТ на разных этапах обработки (слева) и их амплитудно-частотные спектры (справа). После двух итераций уточнения скоростей суммирования с последующей автоматической коррекцией остаточной статики и деконволюции получен разрез после кинематической обработки (рис.8, слева). Последующее шумоподавление проводилось в области «ОГТ – общее

▼ Рис. 5. Временные разрезы после статики за рельеф (слева) и рефракторной статики (справа).



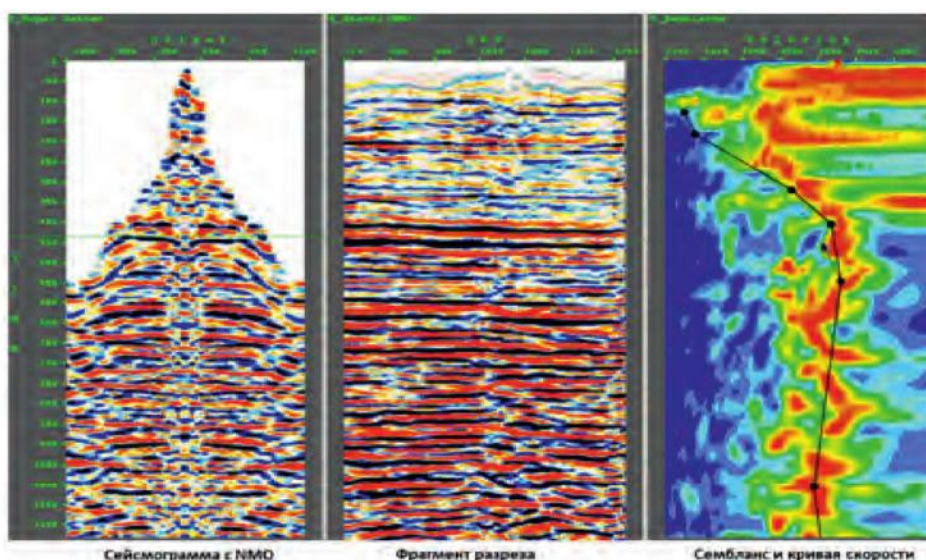


Рис. 6.
Интерактивная
панель анализа
скоростей
суммирования.

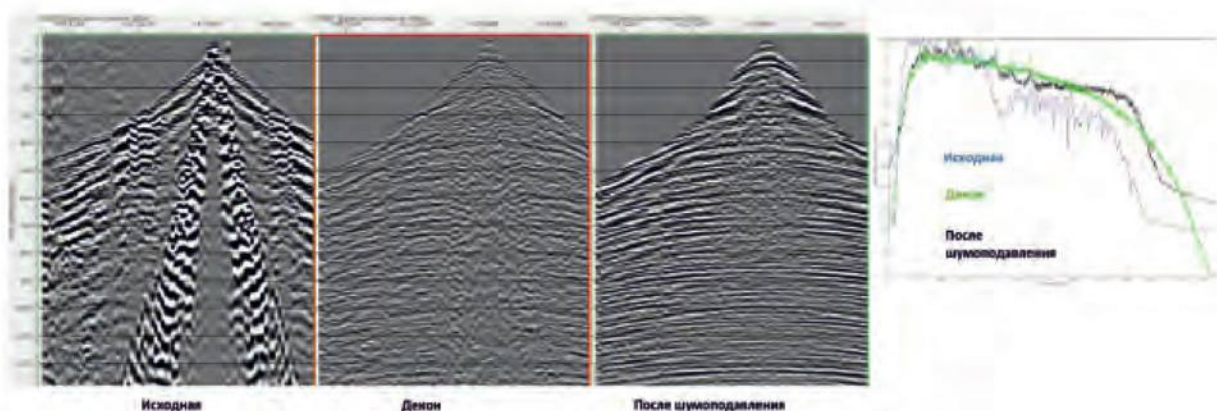


Рис. 7. Сейсмограммы ОГТ на разных этапах обработки (слева) и их амплитудно-частотные спектры (справа).

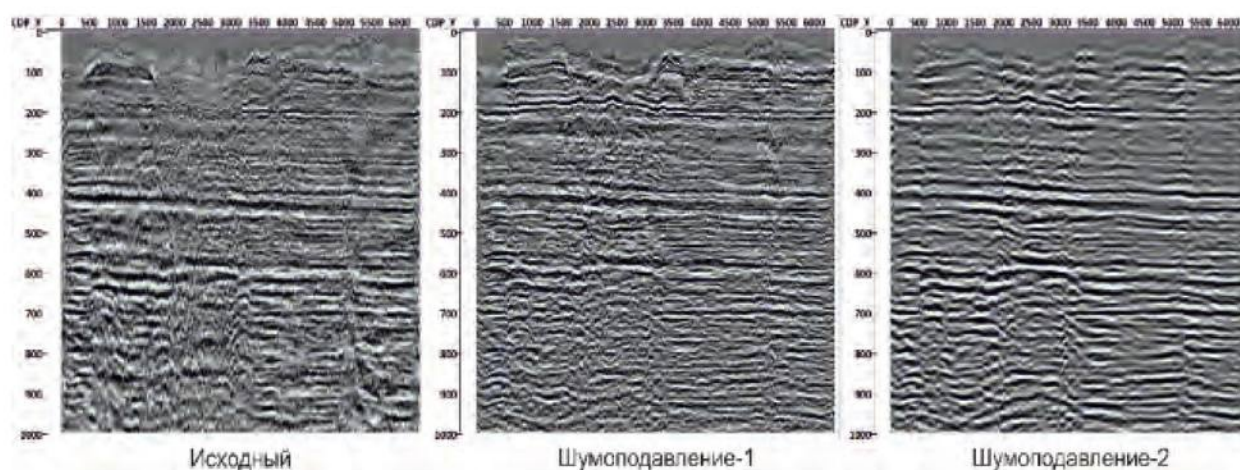
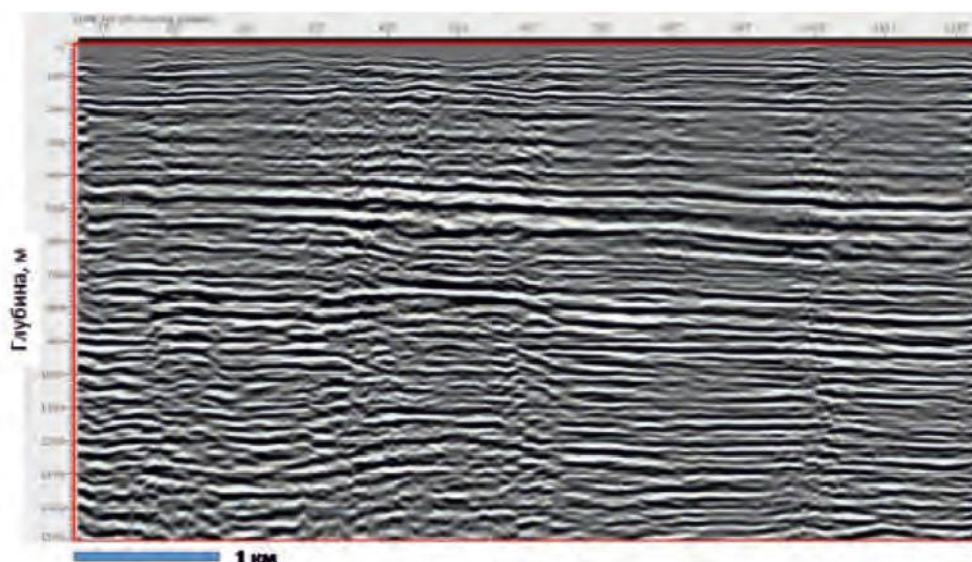


Рис. 8. Временные разрезы после кинематической обработки (слева) и шумоподавления в двух вариантах (по центру, справа)

удаление» для одновременного подавления случайных и когерентных помех и увеличения соотношения сигнал/шум.

Временной разрез после шумоподавления (рис.8, справа) был пересчитан в глубину с использованием сглаженных

► Рис. 9.
Глубинный
сейсмический
разрез
Р-волн.



скоростей суммирования. Глубинный сейсмический разрез представлен на рис.9.

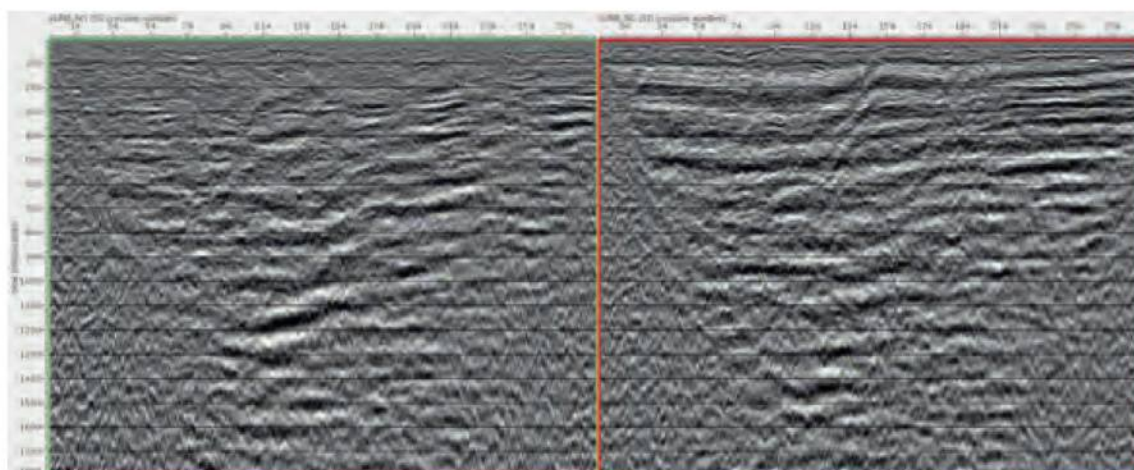
Обработка данных обменных волн

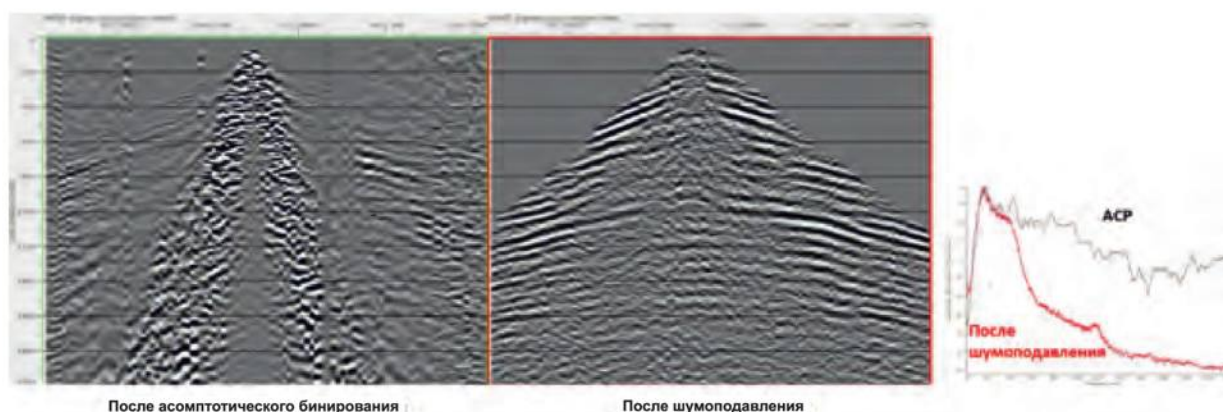
Данные по обменным волнам были получены на участке длиной около 1/3 профиля Р-волн. Первичная стандартная процедура обработки обменных волн состоит в ориентации горизонтальной компоненты приема на источник возбуждения [2]. Результат реориентации Х-компоненты показан на рис.10.

Дальнейшая обработка обменных волн должна содержать учет несимметричности направлений падающей продольной волны и отраженной поперечной волны.

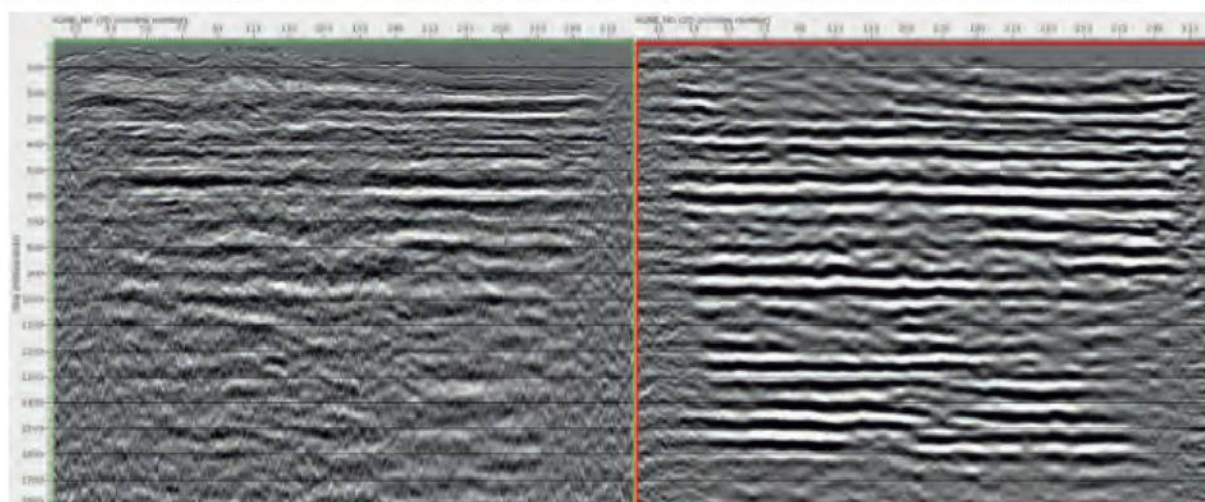
Несимметричность луча учитывалась с помощью асимптотического бинирования (АСР). Основным параметром АСР является предельное значение V_p/V_s , которое обычно уменьшается с увеличением глубины. После тестирования было выбрано значение $V_p/V_s = 2,8$. Статические поправки к уровню приведения 200 м над уровнем моря для пунктов взрыва были взяты из результатов статики по преломленным Р-волнам. Для пунктов приема эти статпоправки масштабировались путем умножения на коэффициент 3,0. По сейсмограммам после АСР и рефракторной статики было проведено две итерации расчета скоростей суммирования и автокоррекции остаточной статики (рис.11).

▼ Рис. 10. Предварительные разрезы PS-волн до поворота Х-компоненты (слева) и после поворота (справа).





▲ Рис. 11. Сейсмограммы АСР (слева) и их амплитудно-частотные спектры (справа).



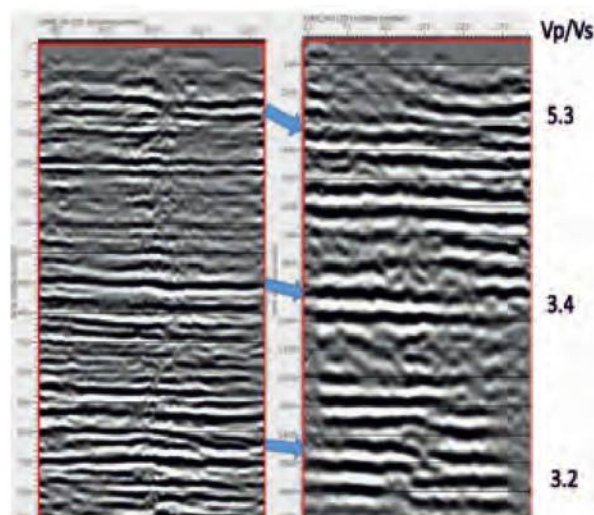
▲ Рис. 12. Разрезы обменных волн после асимптотического бинирования (АСР) и кинематической обработки (слева) и после шумоподавления (справа).

Разрез после кинематической обработки PS-волн показан на рис.12, слева. Для улучшения выделения обменных волн при крайне низком соотношении сигнал/шум применялась процедура **FXU** деконволюции с усиленными параметрами на базе 11 соседних сейсмограмм АСР. Результат применения процедуры показан на рис.12, справа.

Сопоставление полученных временных разрезов для продольных и обменных волн представлено на рис.13. На разрезах волн разных типов уверенно определяются одноименные пакеты отражений (синие стрелки), что позволяет оценить соотношение скоростей путем сравнения времен отражений на разных разрезах. Оценки соотношения $V_p/V_s = (2T_{ps} - T_{pp})/T_{pp}$, где T_{pp} и T_{ps} – двойные

времена пробега PP и PS волн, приведены на рис.13, справа.

▼ Рис. 13. Сравнение изображений на P-волнах (слева) и PS-волнах (справа) и оценка отношения V_p/V_s .



Результаты и выводы

В рамках проделанной работы был отработан сейсморазведочный профиль 2Д длиной 7190 м на монотипных волнах и длиной 1590 м на обменных волнах. Данные были получены с использованием бескабельной системы «GSX» и мобильного источника типа «падающий груз» – ESS-200. Глубинность исследований составила около 1 км. На разрезе обменных волн выделяются те же геологические объекты, что и на разрезе монотипных волн. Данные разрезы могут быть использованы для получения дополнительной информации об исследуемой среде на этапе интерпретации данных, в частности, для оценки соотношения V_p/V_s .

Приведенная в статье технология производства работ при помощи малогабаритного ударного источника и бескабельной регистрирующей системы может быть успешно применена для решения широкого круга задач малоглубинной сейсморазведки.

Литература

- [1] Детков В.А. К 40-летию импульсного источника «Енисей»: вчера, сегодня, завтра. – «Приборы и системы разведочной геофизики», №4(71)/2020.
- [2] Кузнецов В.М. Опыт применения современных технологий при работах на территории РФ по комплексированию волн разных типов. – «Технологии сейсморазведки», № 2, 2008.
- [3] Столбова Т.А., Ланцев В.Ф., Рошмаков Ю.В. (ОАО «Пермнефтегеофизика»), Экологосберегающая технология сейсморазведки в труднодоступных районах. – «Технологии сейсморазведки», №4, 2009.
- [4] Череповский А.В. Наземная сейсморазведка нового технологического уровня. - ООО «ЕАГЕ Геомодель», 2017.
- [5] Ясницкий Ю.С., Бакман П.М. Бескабельные технологии сейсморазведки - универсальный инструмент при поиске месторождений углеводородов. На примере оборудования GSX компании Geospace Technologies inc. (США). – «Приборы и системы разведочной геофизики», №2(48)/2014.