

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Сибирский федеральный университет

СЕЙСМОРАЗВЕДКА В СИБИРИ И ЗА ЕЁ ПРЕДЕЛАМИ

Материалы научно-практической конференции

Красноярск, 22–25 октября 2024 г.

Электронное издание

Красноярск
СФУ
2025

УДК 550.834(571.1/.5)
ББК 26(253)
С288

Ответственный редактор

Никитина Елена Викторовна

С288 Сейсморазведка в Сибири и за её пределами : материалы науч.-практ. конф. Красноярск, 22–25 октября 2024 г. [Электронный ресурс] / отв. ред. Е. В. Никитина. – Электрон. дан. (4,39 Mb). – Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2025. – 127 с. – Систем. требования : PC не ниже класса Pentium I ; 128 Mb RAM ; Windows 98/XP/7/8/10 ; Adobe Reader V8.0 и выше. – Загл. с экрана.
ISBN 978-5-7638-5082-6

Представлены результаты научной работы по применению современных методик обработки и интерпретации данных сейсморазведки, разработке новых алгоритмов, а также использованию Data Science в сейсморазведке.

Предназначены для профильных специалистов, сотрудников научно-исследовательских и проектных организаций, представителей нефтегазовых компаний и учреждений РАН.

Электронный вариант издания
см.: <http://catalog.sfu-kras.ru>

УДК 550.834(571.1/.5)
ББК 26(253)

ISBN 978-5-7638-5082-6

© ПАО «НК «Роснефть»»,
2025

Электронное научное издание

Корректор *Л. В. Боос*
Компьютерная вёрстка *Е. А. Сафиной*

Подписано в свет 18.02.2025. Заказ № 23598
Тиражируется на машиночитаемых носителях

Библиотечно-издательский комплекс
Сибирского федерального университета
660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 82а
Тел.: (391) 206-26-16; <http://bik.sfu-kras.ru>
E-mail: publishing_house@sfu-kras.ru



► Разработка портативного вибрационного источника поперечных волн для задач инженерной и рудной сейсморазведки

П. А. Дергач¹, А. В. Яблоков², Г. Ю. Зобнин³, А. А. Белоусов⁴, С. С. Полозов⁵

^{1,2,3,4}Новосибирский государственный университет, ^{1,2,3,5}ИНГГ СО РАН

¹*p.dergach@nsu.ru*

Введение. Технологии импульсного и вибрационного возбуждения поперечных волн начали активно развиваться со 2-й пол. XX в. [1–3], однако так и не получили массового применения в задачах разведочной геофизики. Тем не менее при изучении верхней части геологического разреза использование поперечных волн является крайне перспективным направлением. Особенно актуальным это становится при изучении многолетне-мёрзлых грунтов в силу высокого контраста скоростей у водонасыщенных пород в талом и мёрзлом состоянии [4], а также возможности проводить малоглубинные исследования с использованием отражённых **SH**-волн в условиях инверсного скоростного разреза [5].

Традиционно при малоглубинных сейсморазведочных исследованиях для генерации поперечных волн используются импульсные источники упругих колебаний. Чаще всего это встречные удары по стенкам шурфа либо по металлическому штырю под 45°. Однако, такой способ возбуждения заметно проигрывает по энергии генерируемых колебаний мощным источникам продольных волн типа «падающий груз» либо импульсным пороховым источникам [6]. Существующие на рынке вибрационные источники, способные генерировать поперечные волны, несмотря на высокое качество получаемых данных, не нашли широкого применения по причине большого веса и габаритов. Например, вес виброузла системы **The Lightning eVibe (Seismic Mechatronics, Netherlands)** составляет 90 кг. Вся же система в сборе весит несколько сотен кг и монтируется на механизированный транспорт [7].

В данной работе представлены результаты разработки портативного вибрационного источника поперечных волн, пригодного для задач не только инженерной, но и рудной сейсморазведки, где глубинность исследований может достигать сотен метров. Результаты полевого тестирования предыдущей менее мощной версии данной разработки подробно описаны в статье [8].

Конструкция вибрационного источника. Конструктивно вибрационный источник состоит из двух блоков: блока излучателей и силового блока. Первый представляет собой шесть низкочастотных акустических преобразователей (излучателей), смонтированных горизонтально внутри металлического корпуса с грунтозацепом. Второй блок представляет собой ударопрочный пластиковый кейс с аккумуляторными батареями (LiFePO₄)

и электроникой (усилители сигнала, система защиты излучателей от постоянного тока, а также аудиоустройство для воспроизведения опорного сигнала и синхроимпульса). На рис. 1 приведены фото вибрационного источника в лабораторных и полевых условиях.

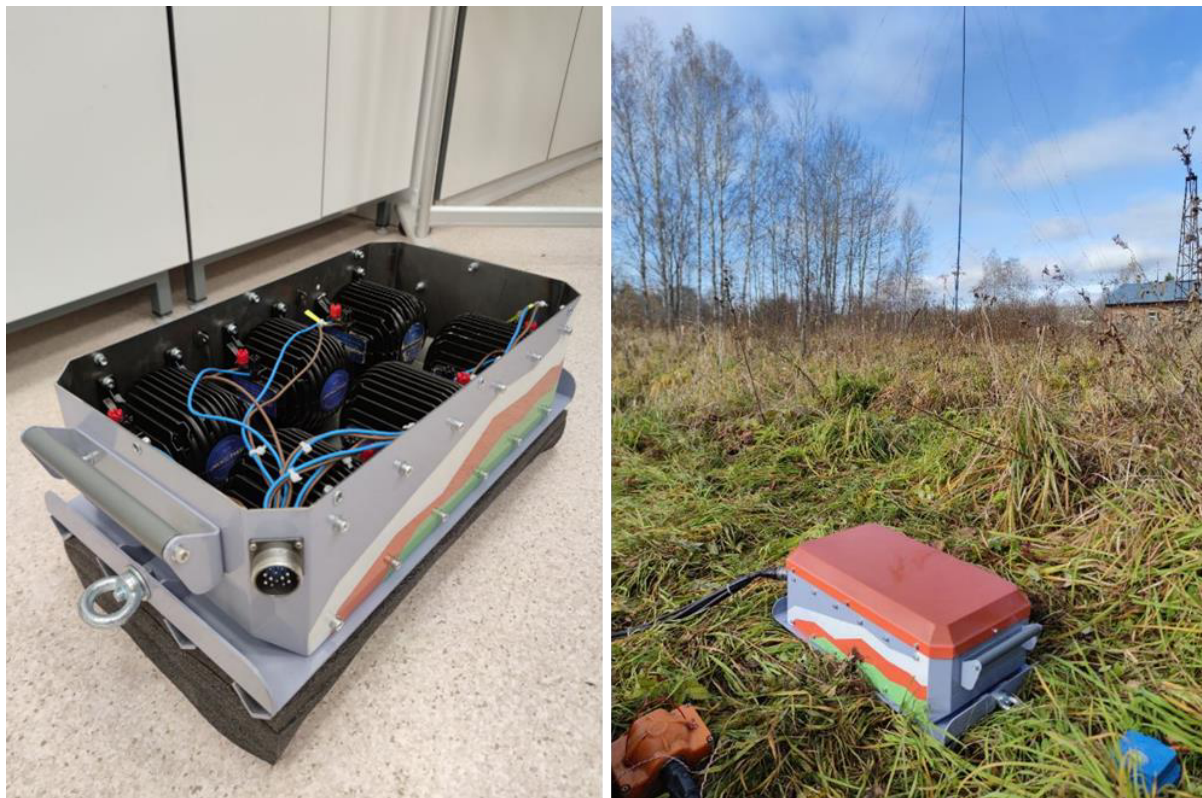


Рис. 1. Фотографии блока излучателей в лабораторных и полевых условиях

Суммарный вес вибрационного источника составляет 60 кг (45 кг – блок с излучателями и 15 кг – силовой блок). Это делает возможным комфортную транспортировку устройства вдоль профиля без использования механизированного транспорта.

Полевое тестирование вибрационного источника. Тестирование вибрационного источника поперечных волн производилось на территории геофизического стационара ИНГГ СО РАН вдоль линейного профиля длиной 355 м (шаг ПП – 5 м, шаг ПВ – 40 м). Регистрация колебаний производилась с использованием бескабельной телеметрической системы **SCOUT** (ОАО «СКБ СП», г. Саратов), представляющей собой блоки автономной регистрации, укомплектованные 3-компонентными 5-герцовыми геофонами **GS-ONE LF** (всего использовалось 72 комплекта).

На рис. 2 приведён пример коррелограммы ОПВ (Y-Y) от вибрационного воздействия на ПВ080. Параметры вибрационного воздействия: линейный свип-сигнал в частотном диапазоне от 5 до 80 Гц длительностью 60 с. Визуализация данных производилась в программном пакете **SeisPro** (ООО «Деко-геофизика СК»).

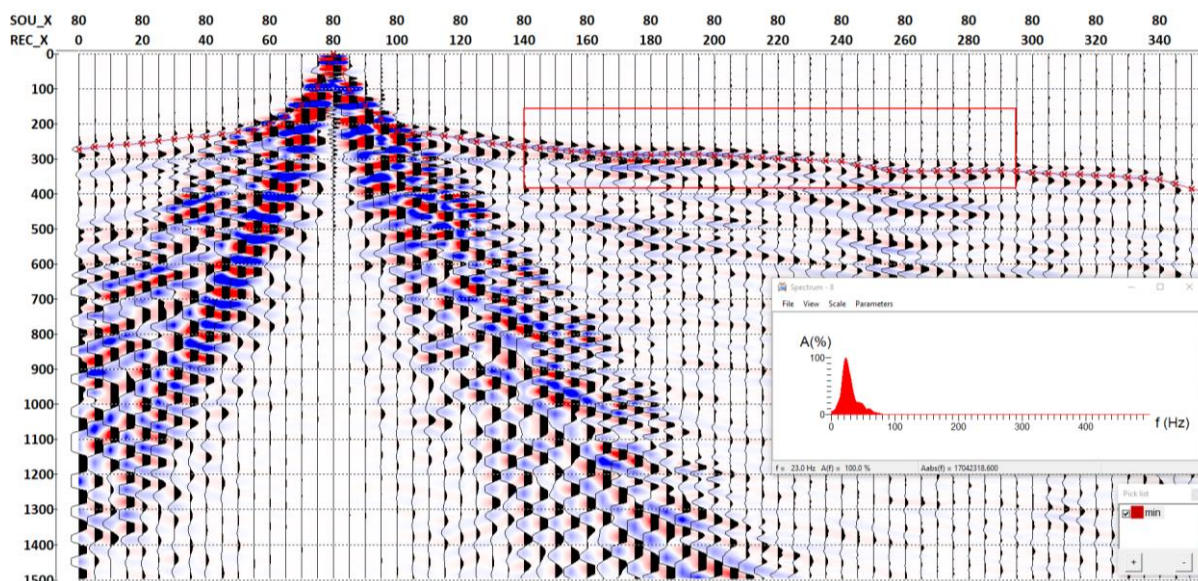


Рис. 2. Коррелограмма ОПВ (Y-Y) от вибрационного воздействия на ПВ080

Как видно из рис. 2, первый устойчивый экстремум корреляционной функции устойчиво прослеживается вплоть до конца профиля, а центральная частота сигнала в первых вступлениях составляет 25 Гц.

Результаты обработки данных. Построение скоростного разреза по поперечным **SH**-волнам производилось двумя методами: сейсмическая томография и слоистая инверсия с использованием авторского программного обеспечения [9; 10]. Оба построения производились с использованием одного и того же набора первых вступлений.

На рис. 3 (сверху) приведено сопоставление наблюдаемых и расчётных годографов, а также результаты построения гладкой скоростной модели методом сейсмической томографии (снизу). На сейсмотомографический скоростной разрез дополнительно нанесены границы, полученные методом слоистой инверсии (белые пунктирные линии).

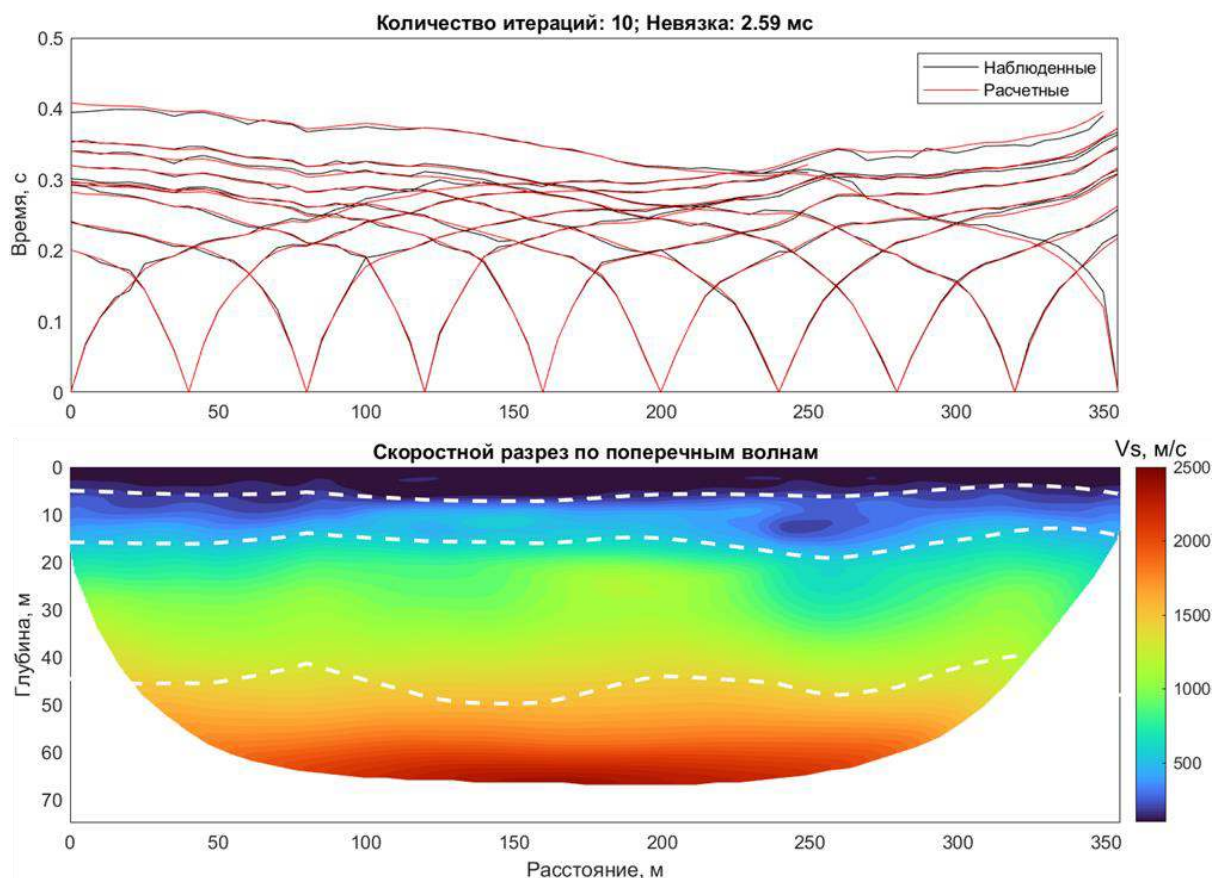


Рис. 3. Результаты обработки данных от вибрационного источника поперечных волн.
Сверху – сопоставление наблюдаемых и расчётных годографов.
Снизу – гладкая скоростная модель поперечных **SH**-волн, полученная методом сейсмической томографии, и границы, полученные методом слоистой инверсии (белые пунктирные линии)

По результатам подбора слоистой модели удалось выделить четыре слоя. Осреднённые значения глубины подошвы, скорости распространения **SH**-волны, а также состав по литологической колонке скважины, расположенной в 70 м от сейсмического профиля, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Осреднённые параметры слоистой скоростной модели по **SH**-волнам

№	Глубина подошвы (м)	Скорость (м/с)	Состав пород
1	6	90	Глинистые пески с переслаиванием суглинков и супесей
2	16	300	
3	45	945	Выветрелые расланцованные алевролиты
4	не определена	2 225	Расланцованные алевролиты

С использованием имеющегося скоростного разреза по продольным волнам, полученным ранее на этом же профиле, было рассчитано соотношение скоростей продольных **P**- и поперечных **SH**-волн в среде (рис. 4).

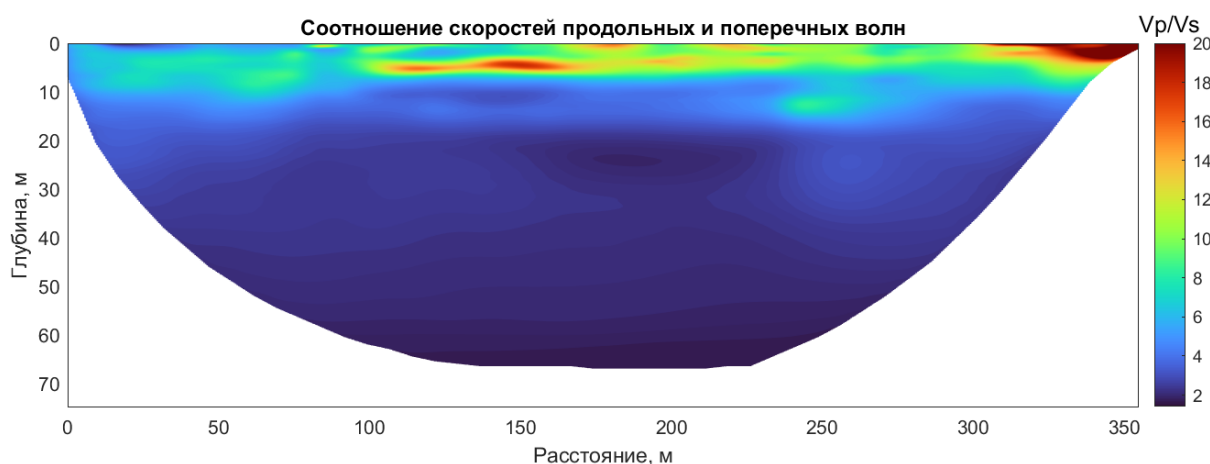


Рис. 4. Соотношение скоростей продольных **P**- и поперечных **SH**-волн в среде

Таким образом, при наличии значений плотности, полученных по скважинным данным, можно было бы рассчитать распределение физико-механических свойств изучаемой среды. Несмотря на то, что у нас такие данные отсутствуют, рис. 4 можно интерпретировать следующим образом: повышенные значения V_p/V_s свидетельствуют о водонасыщении приповерхностного слоя рыхлых грунтов. Причём наиболее высокие значения (около 20) получены на участке профиля, расположенном на болоте.

Выводы. Тестирование новой версии портативного вибрационного источника на основе низкочастотных акустических преобразователей показало его высокую эффективность при возбуждении поперечных **S**-волн. Основные преимущества разработанной установки: отсутствие необходимости вычитания встречных воздействий; минимальные затраты времени при подготовке площадки ПВ; контролируемый частотный диапазон регистрируемых колебаний; простота обработки коррелограмм; идентичность вибрационных воздействий на разных ПВ.

Анализ экспериментальных данных показал, что даже при среднем уровне шумов (постоянный ветер и стройка в 200 м от профиля) удаётся уверенно проследивать преломлённые волны на удалениях до 355 м (дальше не исследовали), обеспечивая значение соотношения «сигнал/шум» 5 и выше. Чтобы достичь такого значения, достаточно излучать линейный свип-сигнал длительностью 60 с с развёрткой частоты от 5 до 80 Гц. Эти показатели можно улучшить, увеличив количество накоплений либо используя более длительный опорный сигнал.



Список источников

1. Пузырев Н. Н. Возбуждение поперечных сейсмических волн взрывами / Н. Н. Пузырев, К. А. Лебедев, Г. Н. Лебедева // Известия СО АН СССР. Геология и геофизика. 1966. № 2.
2. Пузырев Н. Н. Исследование упрощённой модификации траншейного источника поперечных волн / Н. Н. Пузырев и др. // Геология и геофизика. 1980. № 8. С. 69.
3. Юшин В. И. Техническое устройство и результаты применения сейсморазведочного комплекса «Вибролокатор» / В. И. Юшин // Развитие сейсмических методов исследований земной коры и верхней мантии в Сибири. Новосибирск: ИГиГ СО СССР, 1981.
4. Горяинов Н. Н. Применение сейсмоакустических методов в гидрогеологии и инженерной геологии / Н. Н. Горяинов // Недра. 1992. Т. 7.
5. Скворцов А. Г. Сейсмические критерии идентификации мёрзлого состояния горных пород / А. Г. Скворцов, М. Р. Садуртдинов, А. М. Царев // Криосфера Земли. 2014. Т. 18. № 2. С. 83–90.
6. Санфиров И. А. Импульсный пороховой источник упругих колебаний / И. А. Санфиров и др. 2012.
7. Жуков А. П. Возможности вибрационной сейсморазведки в повышении эффективности инженерных изысканий / А. П. Жуков и др. // Приборы и системы разведочной геофизики. 2024. Т. 80. № 1. С. 38–44.
8. Дергач П. А. Результаты полевого тестирования портативного вибрационного источника поперечных волн для задач детального изучения верхней части геологического разреза / П. А. Дергач и др. // Вестник СПбГУ. Науки о Земле. 2024. Т. 69. № 2.
9. Никитин. ST3D: Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ / Никитин и др. 2020.
10. Чернышов Г. С. Подход к построению слоистой скоростной модели верхней части разреза по данным времён первых вступлений / Г. С. Чернышов и др. // Нефтяное хозяйство. 2022. № 1. С. 26–31.