

ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА МАЛОГЛУБИННЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

ENSURING OF QUALITY OF SHALLOW SEISMIC SURVEYS

ФЕДОТОВ С.А.

Заместитель генерального директора, к.т.н.,
ООО «ГЕОСИГНАЛ», г. Москва

ФЕДОТОВ А.С.

Генеральный директор ООО «ГЕОСИГНАЛ», г. Москва,
info@geosignal.ru

FEDOTOV S.A.

Deputy general director of the «GEOSIGNAL» LLC,
PhD (candidate of science in Technics), Moscow

FEDOTOV A.S.

General director of the «GEOSIGNAL» LLC, Moscow,
info@geosignal.ru

Ключевые слова: инженерно-геофизические исследования; многоволновая сейсморазведка; помехоустойчивость; разрешающая способность; производительность; комплексирование методов; исследования верхней части разреза; метод отраженных волн с общей глубиной точкой (МОГТ); сейсмическая аппаратура ТЕЛСС-402; телеметрическая многоканальная станция, скважинный комплекс ТЕЛСС-ВСП; скважинные исследования.

Key words: engineering-geophysical investigations; multiwave seismic surveying; noise immunity; resolution; productivity; integration of methods; investigations of the upper part of the section; common depth point seismic reflection method (CDP); TELSS-402 seismic equipment; multichannel telemetry station; TELSS-VSP borehole complex; borehole investigations.

Аннотация: в статье рассматриваются вопросы обеспечения качества результатов малоуглубинных сейсмических работ при проведении инженерно-геофизических исследований. Для решения поставленной задачи необходим контроль на этапах проведения полевых работ, обработки и интерпретации данных. Из линейных и телеметрических систем регистрации ЭЛЛИСС-3, ТЕЛСС-3, ТЕЛСС-402 наиболее высокое качество регистрации данных обеспечивает последняя. Приводится пример оптимизации возбуждения сейсмических волн, обработки и интерпретации данных. Наиболее качественные результаты сейсмических исследований получаются при их комплексировании с вертикальным сейсмическим профилированием (ВСП).

Abstract: the article deals with problems of ensuring of quality of shallow seismic investigation results for engineering-geophysical surveys. Solution of this task requires control at the stages of field works, processing and interpretation of the obtained data. Among the ELLISS-3 TELSS-3, 402-TELSS linear and telemetry registration systems the last one provides the highest quality of data registration. An example of optimization of seismic waves excitation, processing and interpretation of the obtained data is given. The most qualitative results of seismic surveys are produced when they are integrated with vertical seismic profiling (VSP).

Введение

При проведении сейсмических инженерных исследований весьма актуальной задачей является обеспечение высокого качества результатов работ. С этой целью требуется их контроль на всех этапах — от проектирования до геологической интерпретации резуль-

татов исследований. В том числе необходимо обеспечивать качество проведения полевых работ, обработки и интерпретации данных.

Рассмотрим влияние технических и методических факторов при проведении полевых сейсмических работ, обработки и интерпретации данных на

конечные результаты сейсмических исследований в составе инженерно-геологических изысканий.

Метод и/или теория

Технологическое обеспечение получения качественных конечных результатов малоуглубинных сейсмических исследований включает в себя ряд составляющих:

- регистрацию данных необходимо выполнять с использованием максимального качественного оборудования, имеющего контролируемые технические характеристики и высокую надежность;
- параметры расстановки должны обеспечивать минимизацию влияния волн-помех;
- источник возбуждения сейсмических сигналов должен максимально соответствовать решению поставленных задач;
- обработку данных требуется выполнять с учетом помеховой обстановки результатов измерений;

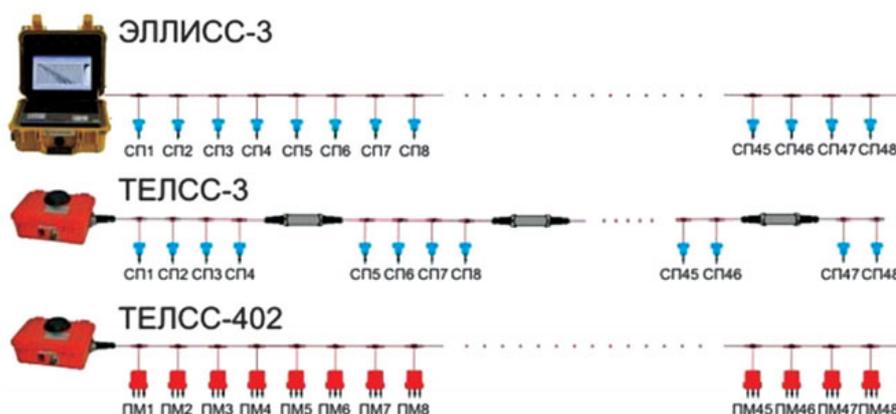


Рис. 1. Структура построения сейсморазведочных систем: СП — сейсмоприемник; ПМ — полевой модуль

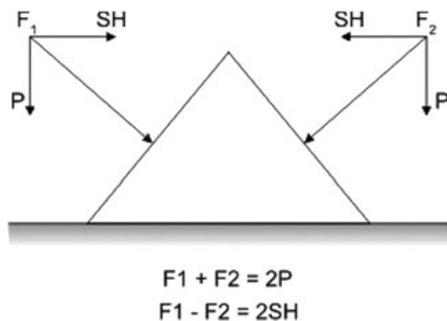


Рис. 2. Схема возбуждения P- и SH-волн: F1 — удар по подставке слева; F2 — удар по подставке справа; P — направление возбуждения продольной волны; SH — направление возбуждения поперечной волны

- интерпретацию данных необходимо проводить с учетом результатов скважинных исследований и вертикального сейсмического профилирования (ВСП).

Для выполнения малоглубинных сейсмических работ ООО «ГЕОСИГ-

НАЛ» выпускает комплекс наземной и скважинной аппаратуры, обеспечивающий качественную регистрацию данных при наземных и скважинных сейсмических исследованиях: ЭЛЛИСС-3, ТЕЛСС-3, ТЕЛСС-402, ТЕЛСС-ВСП. На рисунке 1 показана структура построения сейсморазведочных систем.

Сейсморазведочная система ЭЛЛИСС-3 представляет собой регистратор с подключаемыми сейсмическими косами на 24÷48 каналов. Наиболее типовое использование линейной станции — с числом каналов 24÷48, причем увеличение канальности сопряжено со значительным увеличением веса сейсмических кос.

Телеметрическая система ТЕЛСС-3 является наиболее востребованной среди потребителей благодаря своим высоким технологическим и эргономическим показателям. Она также существенно меньше по весу и позволяет организовать различные методы наблюдений: 2D,

3D, технологии «широкий профиль» и др. Минимальный уровень шумов (0,08 мкВ), широкий динамический диапазон (130 дБ), минимальные нелинейные искажения (0,0005%) обеспечивают регистрацию сейсмической информации с высокой точностью, а конструкция корпуса позволяет эксплуатировать систему в условиях мелководья и в заболоченной местности. Наиболее востребованными являются системы с числом каналов 48÷96, причем покупатель имеет возможность наращивать их количество вплоть до 200, приобретая только дополнительные модули и соединительные кабели с сейсмоприемниками. Интерфейс системы сбора данных предусматривает использование как проводной (USB 2.0), так и беспроводной (по сети WI-FI) системы. Отметим, что в телеметрической системе при расстановке сейсмоприемников через 2 м расстояние витой пары проводов от полевого модуля до сейсмоприемников составляет соответственно 0,9 и 2,9 м. В целом использование телеметрических станций существенно повышает качество сейсмических данных относительно линейных станций.

Новая сейсмическая система ТЕЛСС-402 максимально оптимизирована для проведения малоглубинных сейсмических исследований, для чего в ней существенно изменена структура построения регистрирующей части. Полевой модуль ТЕЛСС-402 адаптирован для регистрации одной или двух компонент сейсмического поля, причем геофоны GS-20DX и блоки телеметрической системы регистрации и передачи данных находятся в корпусе полевого модуля. Последний через короткий (1–2 м) 6-жильный кабель с концевым разъемом соединяется с линией связи. Линия связи представлена 6-жильным кабелем в полиуретановой оболочке с разъемами для подключения полевых модулей. Такое построение системы обеспечивает ее максимальную помехозащищенность, существенно меньший вес, а также наибольшую производительность малоглубинных исследований.

Одним из важнейших факторов является обеспечение надежности работы регистрирующих комплексов в различных климатических и технологических условиях. С этой точки зрения наиболее уязвимы линейные сейсмические станции, так как выход из строя сейсмодосы (полный или частичный разрыв), отказ системы регистрации приводят к невозможности проведения дальнейших работ, что особенно плохо в отдаленных районах строительства газопроводов, перекачивающих станций и т.д., так как

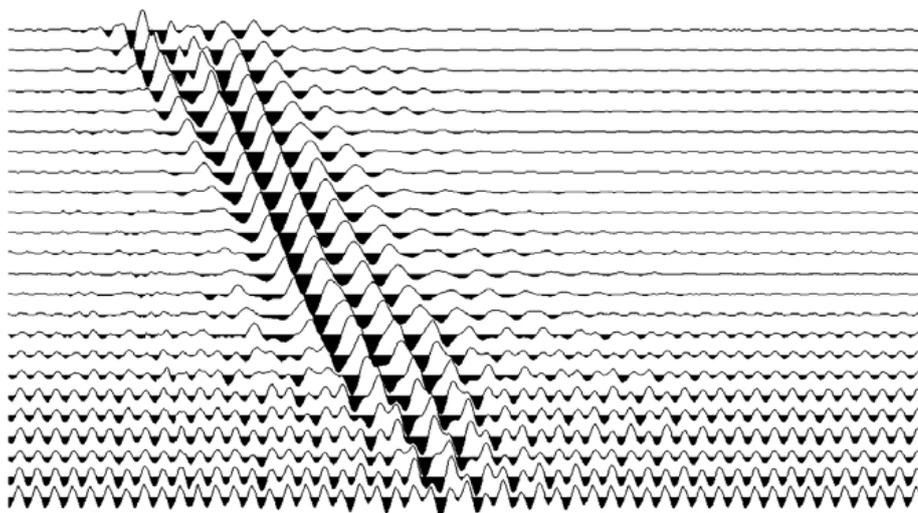


Рис. 3. Сейсмограмма с сильным уровнем электромагнитных помех

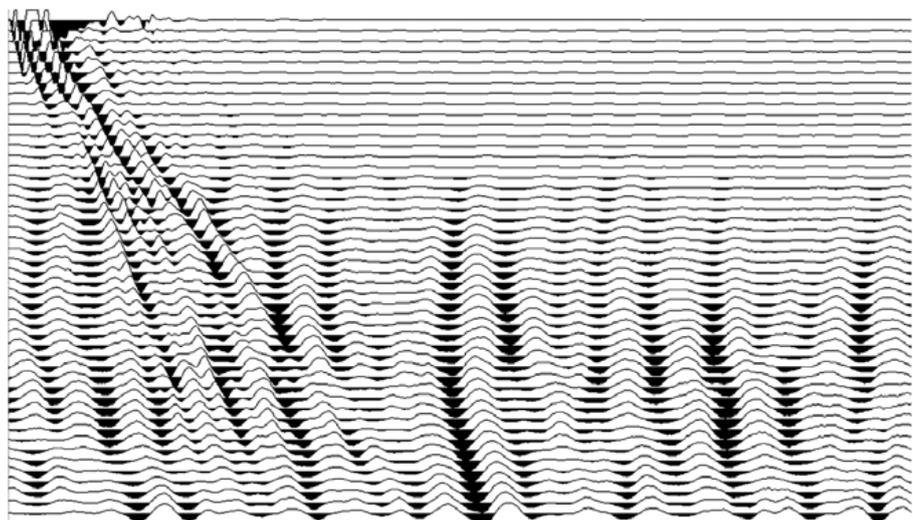


Рис. 4. Сейсмограмма с сильным уровнем помех от автомобильного транспорта

доставка нового оборудования требует больших временных затрат. Поэтому для надежного выполнения работ необходимо иметь дубликат оборудования.

Совсем другая ситуация — с телеметрическими комплексами. Здесь для обеспечения надежной работы достаточно иметь запасной полевой модуль и 4-канальную телеметрическую косу. Тогда при наличии проводного и радиоинтерфейсов работы будут выполнены в самых удаленных уголках нашей страны с высокой степенью надежности.

При выборе оборудования для проведения сейсмических работ необходимо, чтобы оно обеспечивало возможность полного контроля заявленных параметров системы регистрации, подключения сейсмоприемников (по сопротивлению) к сейсмической косе, фактического положения сейсмоприемника в пространстве (отклонения сейсмоприемника Z от вертикали и сейсмоприемника Y от горизонтали).

Вторым важным фактором для получения качественных сейсмических данных является наличие адаптированной системы возбуждения сигналов.

Проведение полевых работ по технологии общей глубинной точки (ОГТ) требует расстановки сейсмической косы с сейсмоприемниками продольных P-волн и, соответственно, формирования пунктов возбуждения (ПВ) и пунктов приема (ПП) сигналов. После замены сейсмоприемников для регистрации поперечных SH-волн ПВ обрабатываются дважды — при возбуждениях «+Y» и «-Y», то есть с двух противоположных сторон от источника возбуждения (рис. 2). Следует отметить, что расстояние между пунктами возбуждения при проведении работ по технологии ОГТ выбирается исходя из задаваемого разрешения. Так, при расстановке сейсмоприемников через 1–2 м ПВ формируются через 2–4 м. При этом разрешение на исследуемых глубинах (15–20 м) составляет около 3–6 м и зависит от геологического разреза.

Для почти двукратного повышения производительности сейсмических исследований была разработана технология, включающая:

- одновременное формирование P- и SH-волн с использованием специализированного источника сейсмических колебаний (см. рис. 2);
- формирование одновременной регистрации P- и SH-волн путем расстановки в каждой точке наблюдений сейсмоприемников продольных и поперечных волн, расстояние между которыми определяется исходя из

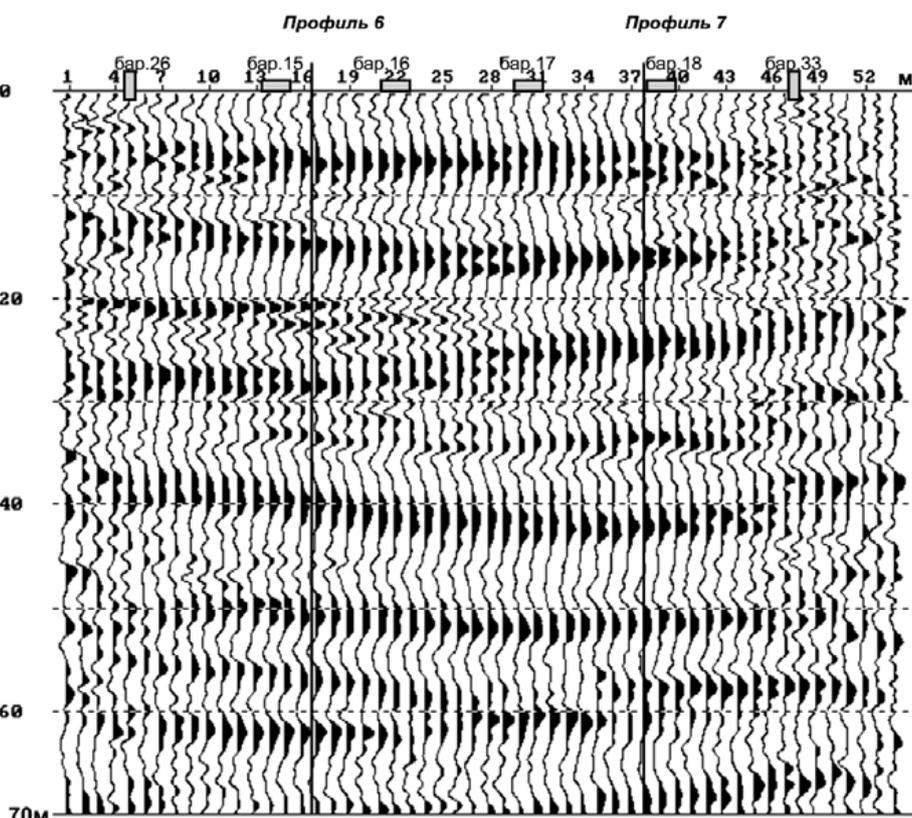


Рис. 5. Глубинный сейсмический разрез

задаваемой разрешающей способности геологических исследований.

При суммировании основных компонент помехи вычитаются, что позволяет увеличить амплитуду полезного сигнала в 1,5–2,0 раза и, соответственно, существенно снизить уровень помех. При использовании 96-канальной телеметрической системы производительность

достигает 300÷350 м за смену при шаге расстановки сейсмоприемников 1 м, а пунктов возбуждения — 4 м [2].

Для реализации указанной технологии при использовании станции ТЕЛСС-3 необходима установка в каждой точке измерений двух сейсмоприемников — вертикального GS-20DX и горизонтального GS-20DX-2B.

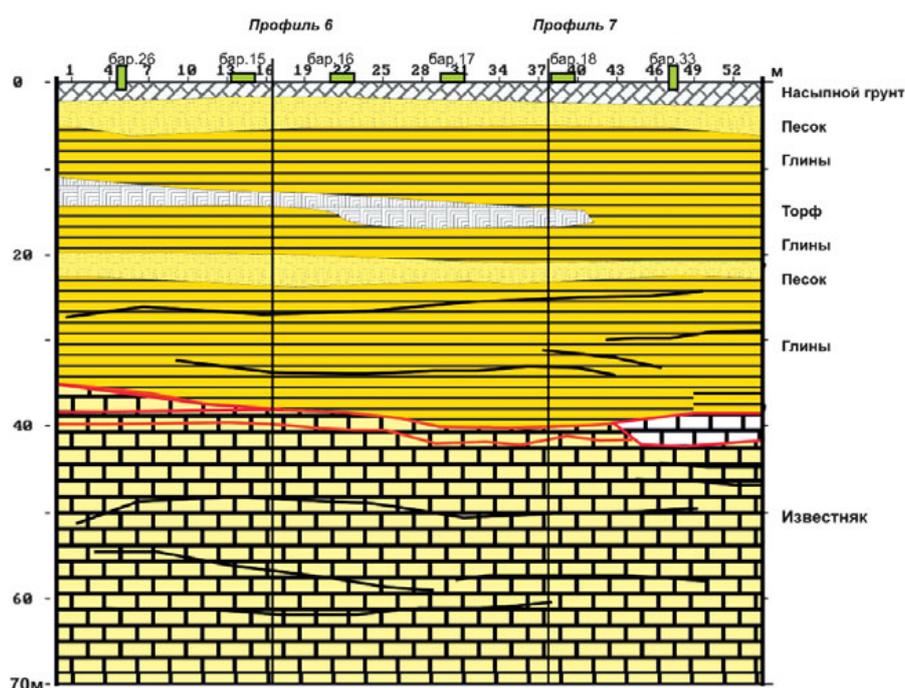


Рис. 6. Геологическая интерпретация

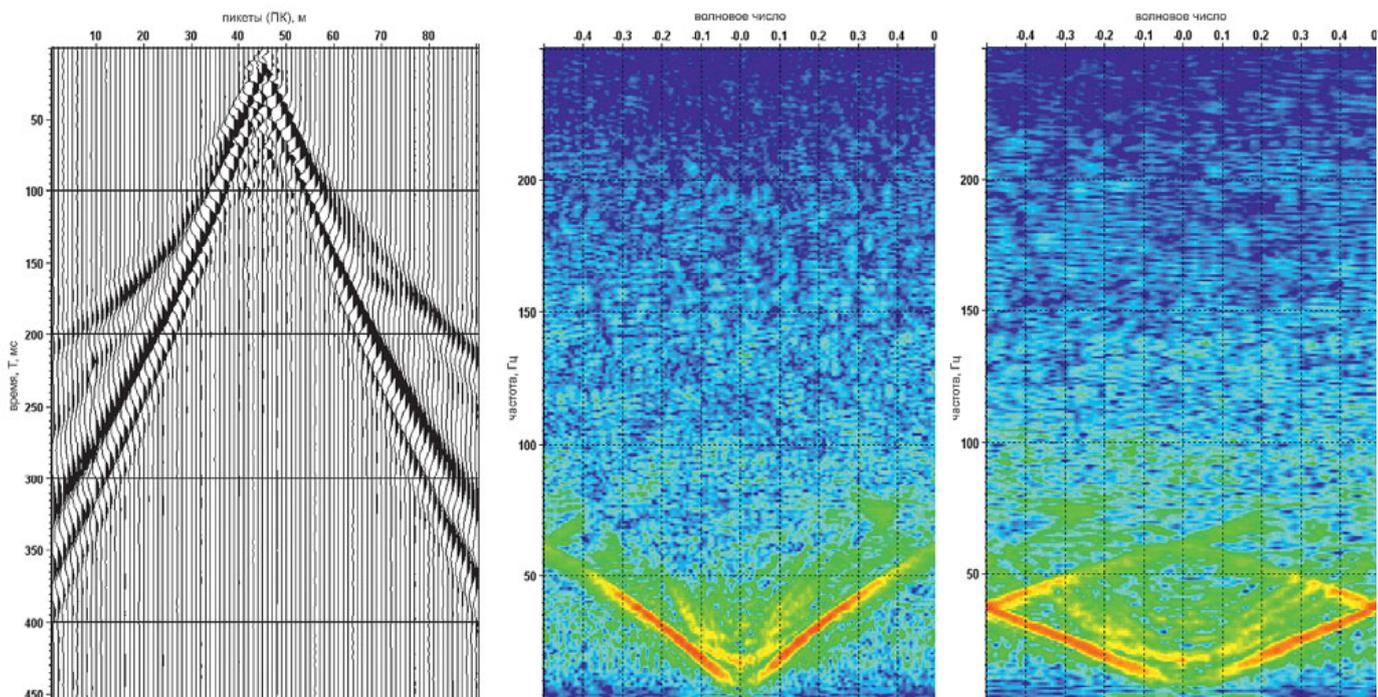


Рис. 7. Использование F-K фильтров при шаге расстановки 1 и 2 м

Применение телеметрической системы ТЕЛСС-402 с полевыми модулями, которые включают в себя вертикальный и горизонтальный геофоны, предпочтительнее, поскольку она компактнее по сравнению с ТЕЛСС-3.

Третьим фактором, определяющим качество результатов сейсмических работ, является обработка данных. В настоящее время наиболее широко используются методы преломленных, отраженных и поверхностных волн. От-

метим, что наибольшая детальность изучения геологической среды при высокой помехоустойчивости результатов измерений получается при использовании технологии ОГТ, так как она обеспечивает накопление полезных сигналов как

ТЕЛСС-402/403



НОВОЕ ПОКОЛЕНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ИНЖЕНЕРНОЙ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ

- регистрация одной, двух или трех компонент сейсмического поля
- встроенные геофоны в измерительный блок
- модульное исполнение
- прием данных по беспроводной сети
- работа при любых погодных условиях
- максимальная защита от помех




КАЧЕСТВО И НАДЕЖНОСТЬ - ГАРАНТИЯ 5 ЛЕТ

www.geosignal.ru info@geosignal.ru
 +7 (495) 973-39-20

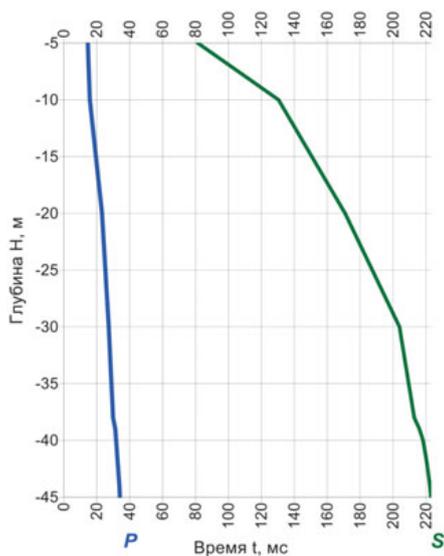


Рис. 8. Годографы первых вступлений продольных и поперечных волн, отражающие зависимости V_p и V_s от глубины

по времени, так по исследуемому пространству. При числе каналов $72 \div 96$ появляются новые возможности повышения производительности работ и качества результатов при использовании технологии ОГТ и обработки с помощью томографического подхода, а также технологии обработки данных на поверхностных волнах [1].

В 2013 г. при проведении полевых работ был выполнен эксперимент на одном из профилей с использованием линейной и телеметрической станций в условиях сильных электромагнитных помех. На рисунке 3 представлена сейсмограмма, на которой прослеживается

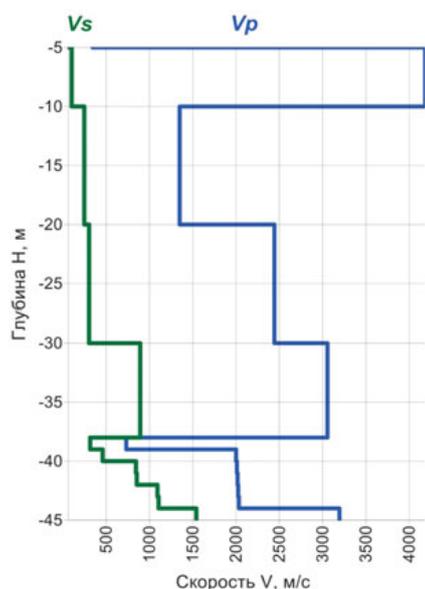


Рис. 9. Скоростная модель исследуемого объекта — графики скоростей распространения продольных (V_p) и поперечных (V_s) сейсмических волн в зависимости от глубины Н

высокий уровень электромагнитных помех на части каналов вследствие наводок на телеметрическую систему ТЕЛСС-3. Наводки на линейную систему оказались в 2–3 раза выше. На рисунке 4 представлена сейсмограмма, полученная в процессе проведения работ в условиях сильных помех от автомобильного транспорта.

В условиях повышенного уровня помех необходимо реализовывать регистрацию данных от каждого сигнала возбуждения, контролировать процесс накопления данных и иметь возможность их редактирования после регистрации при камеральных работах.

На рисунке 5 представлен глубинный сейсмический разрез на поперечных волнах, а на рис. 6 — геологическая интерпретация с использованием имеющейся скважины для привязки сейсмических границ по глубине. Как видно, на глубинном сейсмическом разрезе хорошо «отбиваются» сейсмические границы в результате перебора скоростей при обработке данных. Однако даже при наличии скважинной информации возникают неоднозначности глубинной привязки сейсмических границ, а также определения скоростей продольных (V_p) и поперечных (V_s) волн и по разрезу.

Хорошее разрешение по глубине получено за счет высокоплотной расстановки сейсмоприемников через 1 м и использования F-K фильтров в процессе обработки данных. На рисунке 7 приведены примеры двумерных F-K спектров для расстановки сейсмоприемников через 1 м и через 2 м. На них уже на частотах $25 \div 33$ Гц видны волны-помехи, которые устраняются при расстановке сейсмоприемников через 1 м.

Для решения задач комплексирования наземных сейсмических и скважинных исследований разработан и внедрен в производство комплекс ТЕЛСС-ВСП. Скважинный прибор, имеющий вес 9 кг, диаметр 60 мм и усилие прижима более 80 кг, соединен с блоком регистрации 6-жильным телеметрическим кабелем, по которому передается информация в цифровом виде из блока электроники скважинного зонда от трех ортогонально расположенных сейсмоприемников. Перемещение

в скважине при опущенном прижиге проводится с помощью троса диаметром 4–5 мм. В целом вес прибора с кабелем длиной 100 м и системой регистрации составляет не более 20 кг.

С помощью скважинного комплекса ТЕЛСС-ВСП были проведены исследования на одном из объектов. На рисунке 8 представлены годографы первых вступлений продольных и поперечных волн, отражающие зависимости V_p и V_s от глубины, а на рис. 9 — скоростная модель исследуемого объекта.

Приведенные примеры показывают эффективность использования скважинной системы ТЕЛСС-ВСП как в комплексе с поверхностными сейсмическими исследованиями, так и для изучения кинематических и динамических характеристик сейсмического поля при скважинных исследованиях.

Выводы

В статье рассмотрены наиболее важные факторы, определяющие качество и достоверность результатов малоуглубинных сейсмических исследований.

1. Использование телеметрических систем ТЕЛСС-3, ТЕЛСС-402 обеспечивает полный контроль параметров системы регистрации и параметров сейсмической косы с сейсмоприемниками для проведения многоволновой сейсморазведки.

2. Модульность построения систем ТЕЛСС-3, ТЕЛСС-402 существенно повышает надежность результатов сейсмических работ в различных районах России.

3. В процессе выполнения работ необходимо обеспечивать оптимальную систему возбуждения сейсмических сигналов.

4. Высокоплотная расстановка сейсмоприемников через 1 м позволяет существенно снизить влияние поверхностных волн при применении F-K фильтров при обработке данных.

5. Проведение наземных сейсмических работ в комплексе с ВСП позволяет уверенно картировать сейсмические границы геологической среды и определять ее физические параметры (модуль Юнга, коэффициент Пуассона и др.).

Список литературы

1. Рагозин Н.А., Федотов А.С. Возможности обработки многоканальных сейсморазведочных данных // Инженерные изыскания. 2012. № 11. С. 29–34.
2. Федотов С.А., Федотов А.С., Федорова М.П. Повышение помехоустойчивости, разрешающей способности и производительности многоволновой сейсморазведки при инженерно-геофизических исследованиях // Инженерные изыскания. 2011. № 11. С. 60–65.