

Сопоставление характеристик сейсмических записей при различных типах группирования сейсмоприёмников

- Зарипов С.М., Шангареев Р.М., Засыпкин А.В., Трофимов А.В., Череповский А.В., АО «Росгеология».
- Кыштым Д.С., АО «Якутскгеофизика», АО «Росгеология».
- Ковальский Д.Г., Афанасьева С.А., Кривощёков А.Л., Бирюкова С.В., ОП «Иркутское геофизическое подразделение», АО «Росгеология».

Описаны опытно-методические работы (ОМР), выполненные в регионе Восточной Сибири с целью сопоставления сейсмических записей, получаемых при использовании стандартных 12-приборных групп геофонов на базе 25 м и 3-приборных групп, закреплённых на металлической площадке («точечная регистрация»). Показано, что традиционное группирование сейсмоприёмников не обеспечивает эффективного подавления волн-помех в случае изменчивых поверхностных и приповерхностных условий и может негативно сказываться на полезном сигнале. При установке элементов группы «в точку» отсутствуют такие эффекты как направленность и ослабление высоких частот записи. Применение 3-приборной группы «в точке» увеличивает доминантную частоту в среднем на 4–5 Гц, что повышает разрешённость записи.

Введение

В наземной сейсморазведке 2D и 3D для регистрации упругих колебаний традиционно применяются группы сейсмоприёмников, и электрические сигналы на выходе приёмников, соединённых последовательно или параллельно в одну группу, суммируются. Как известно, этот приём обеспечивает ослабление случайных и регулярных помех, повышение отношения сигнал/помеха и увеличение чувствительности.

Но нельзя забывать, что выбор группы является компромиссным решением, учитывающим противодействующие факторы [1]: оптимальные группы должны подавлять регулярные помехи с определёнными длинами волн, а также случайные помехи, но пропускать без искажений полезные отражённые волны. Традиционно в наземной сейсморазведке применяются продольные группы длиной 25 м с количеством сейсмоприёмников в группе от 9 до 12. В отдельных случаях применялись и площадные

группы – в форме креста, квадрата, многоугольника или окружности, – но на практике теоретические выгоды перечёркивались сложностью и времязатратностью установки таких групп.

Во многих ситуациях, особенно при изменчивых поверхностных условиях и при высокоскоростной ВЧР, даже короткие группы существенно искажают амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) полезных сигналов из-за следующих факторов [2]:

- 1) статические сдвиги внутри групп (из-за неоднородностей ЗМС и неровностей поверхности наблюдений);
- 2) неидентичность условий установки и невертикальность приёмников;
- 3) невертикальность лучей отражённых волн кривизна их волнового фронта на больших удалениях от источника;
- 4) азимутальная анизотропия при сейсморазведке 3D (то есть зависимость амплитуды регистрируемых волн от азимута их подхода к пунктам приёма).

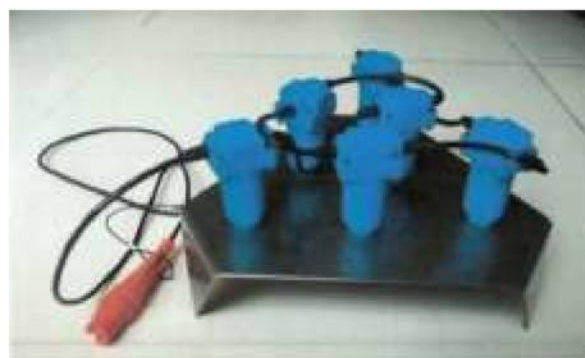
Если говорить об условиях проведения геофизических исследований в России – а

это, как правило, сложные поверхностные и приповерхностные условия (особенно в Восточной Сибири), – то анализ волновых зондов показывает, что потрассные статические сдвиги на интервалах до 25 м зачастую составляют 5–10 мс, а при сочетании неоднородной ВЧР и изрезанного рельефа достигают 15–20 мс и больше. В результате несинфазного сложения сигналов группами сейсмоприёмников можно не только подавить высокочастотную часть полезного сигнала, но и вообще потерять корреляцию как отражённых волн, так и более низкочастотных первых вступлений преломлённых волн.

Точечная регистрация

Под точечной регистрацией не обязательно понимают одиночный сейсмоприёмник на каждом пункте приёма. Это может быть та же стандартная группа из 12 приёмников, поставленная в грунт компактно, на площадке небольшого размера. В последние годы появились высокочувствительные геофоны (80–85 В/(м/с)), которые всего в полтора-два раза уступают по чувствительности стандартной группе из 12 параллельно-последовательно соединённых геофонов, таких как GS-20DX (27,5 В/(м/с) каждый, и общая чувствительность группы 2х6 равна 165 В/(м/с)). В тех случаях, когда Заказчик предпочитает точечную регистрацию, вместо приобретения одиночных высокочувствительных геофонов подрядчик может применять небольшие группы из 2–3 или 6 стандартных геофонов, смонтированных на металлической подставке (рис.1 и 2).

Опытные работы, выполненные многими сейсморазведочными компаниями в различных регионах нашей страны, дали устойчивый результат: с увеличением количества геофонов в группе от 2–3 до 6, а тем более до 12, интенсивность записи пропорционально



▲ Рис. 1. Точечная 6-приборная группа геофонов на металлической подставке.



▲ Рис. 2. Точечная 3-приборная группа геофонов на металлической подставке.

возрастает, но при приведении амплитуд к одному уровню сейсмограммы становятся практически идентичными и неотличимыми друг от друга. Это говорит об избыточности установки «в точку» стандартной группы из 12 геофонов.

Чтобы показать преимущества точечной регистрации сокращёнными группами геофонов, в начале мая 2021 г. мы провели профильные ОМР в Восточной Сибири силами одной из сейсмопартий АО «Якутскгеофизика». Были параллельно разложены две активных расстановки длиной 10 км (рис.3): со стандартными группами по 12 геофонов на базе 25 м и с 3-приборными точечными группами, закреплёнными на металлических подставках (рис.2). Количество активных каналов в центральной симметричной расстановке было равно 401 (ПВ на 201 канале), шаг ПП = 25 м, шаг ПВ = 50 м.

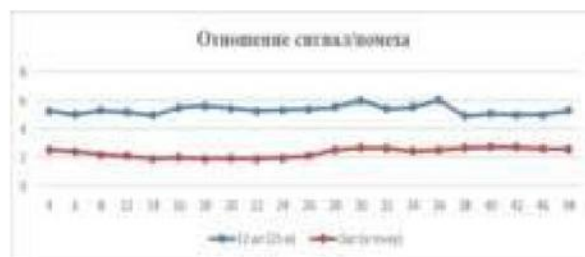


▲ Рис. 3. Параллельно разложенные две линии приёма со стандартными 25-метровыми линейными группами геофонов и 3-приборными группами «в точке».

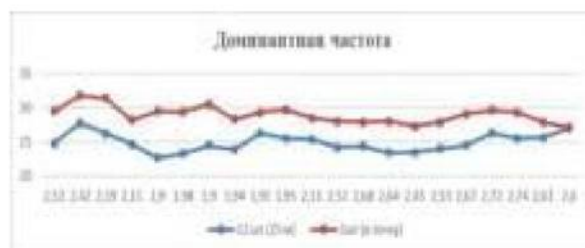
Расстановка линии приёма с 3-приборными точечными группами осуществлялась значительно быстрее, чем раскладка параллельной линии приёма со стандартными 25-метровыми группами геофонов. Кроме того, закреплённые на платформах геофоны обеспечивали более устойчивое вертикальное положение, чем индивидуальные геофоны, установленные в плотный снег.

Обработка материалов ОМР

Анализ и обработка материалов опытных работ производились в обрабатывающей системе SPS-PC. Для оценки качества полученных материалов были рассчитаны следующие значения на дальней половине каналов (удаления 2500–5000 м): средние амплитуды сигнала (A_{sig}) в окне 1800–2500 мс и микросейсм (A_{mic}) в окне 50–350 мс, их соотношение (A_{sig}/A_{mic}), а также доминантная частота (F_{dom}). Расчёт атрибутов проводился в тех же окнах, которые использу-



▲ Рис. 4. Графики отношения сигнал/помеха.



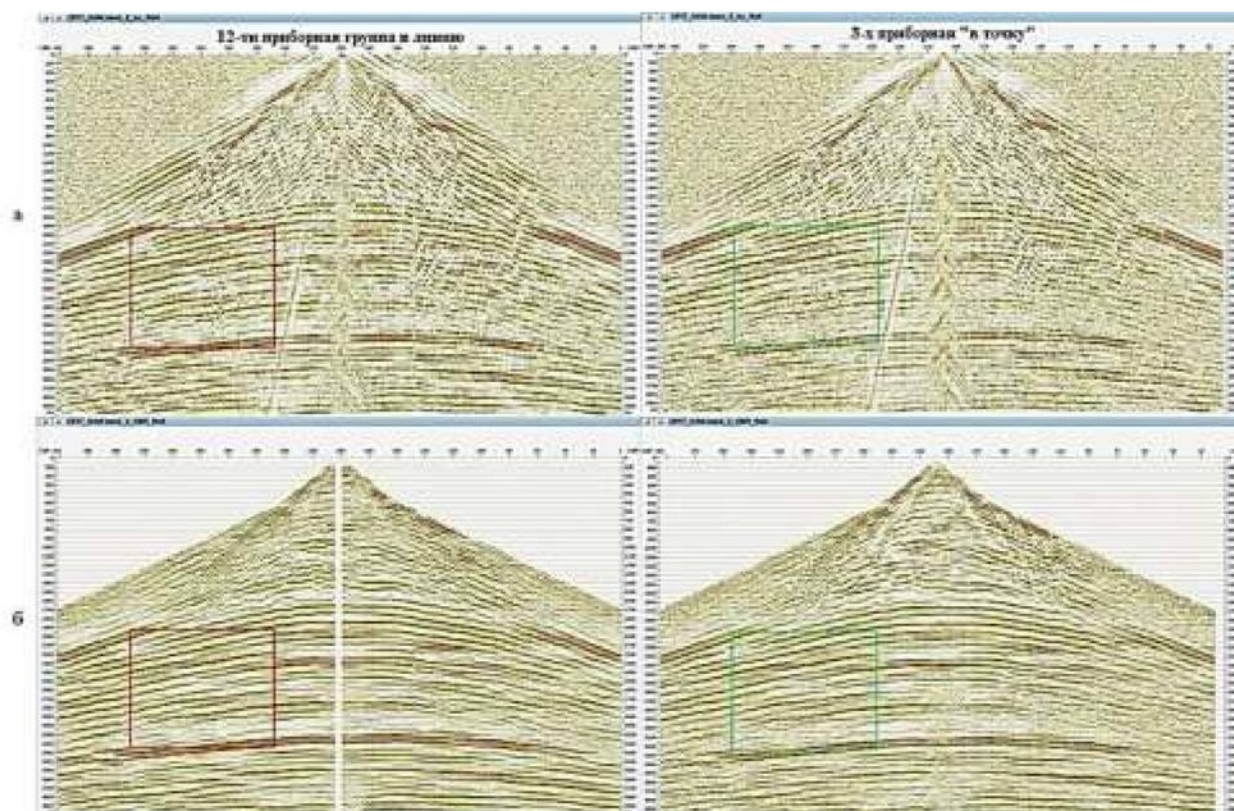
▲ Рис. 5. Графики доминантной частоты.

ются при производственных работах. Амплитуда сигнала, а также отношение сигнал/помеха для стандартной группы, установленной на базе 25 м, больше, чем амплитуда сигнала от 3-приборной группы, установленной в «точку», в 2–2,5 раза (рис.4). При этом доминантная частота для 3-приборной группы превышает доминантную частоту для стандартной линейной группы на 2,3–6,8 Гц (рис.5).

Была проведена предварительная обработка двух массивов сейсмограмм с подавлением различного типа помех, включая поверхностную, звуковую и других волн-помех, имеющих линейную кинематику. На рис.6 проиллюстрирована эффективность выполненных процедур шумоподавления, благодаря которым стали уверенно прослеживаться все отражающиеся горизонты на временах пробега до 3 с.

Результаты ОМР

При сравнении плюсов и минусов двух вариантов регистрации сейсмических данных можно сделать следующие выводы:



▲ Рис. 6. Исходные сейсмограммы (вверху) и прошедшие предобработку (внизу). Слева – регистрация стандартными группами по 12 геофонов; справа – точечная регистрация 3-приборными группами.

1. Отношение сигнал/помеха на исходных сейсмограммах, полученных с помощью стандартных линейных групп, выше за счёт некоторого снижения уровня случайного шума, что обусловлено статистическим эффектом группирования на базе 25 м.

2. Группирование сейсμοприёмников рассчитано на подавление волн-помех в довольно узком диапазоне частот и кажущихся скоростей, и, соответственно не позволяет полностью подавить волны-помехи при регистрации, и, кроме того, негативно сказывается на полезном сигнале, что проявляется в искажениях динамических характеристик средне- и высокочастотных составляющих.

3. При установке элементов группы в точку отсутствуют такие нежелательные эффекты как направленность (при работах 3D) и ослабление высоких частот

записи. Сохраняется вся полоса частот регистрируемого волнового поля. Применение 3-приборной точечной группы при несколько более низком уровне записи позволило в нашем случае повысить доминантную частоту в среднем на 4–6 Гц, что повышает разрешённость записи.

4. Поскольку современный математический аппарат позволяет достаточно эффективно подавлять волны-помехи различного типа на начальных стадиях обработки, сохранение динамики регистрируемого полезного сигнала выходит на первое место. Повышение частоты записи и сохранение динамики путём применения точечной регистрации данных гораздо важнее некоторого снижения уровня регулярных и случайных помех, достигаемого за счет статистического эффекта линейных групп

приёмников.

Выводы. По нашему мнению, группирование трёх сейсмоприёмников, установленных «в точку», вполне отвечает современным тенденциям в наземной сейсморазведке. В технологическом отношении точечные группы устанавливаются намного быстрее, чем стандартные 25-метровые линейные группы, и шанс порыва оборудования сводится практически к нулю. При весенней распутице 3-приборные группы стоят устойчиво, в то время как в случае 25-метровых групп приходится постоянно поправлять упавшие сейсмоприёмники, что увеличивает нагрузку на персонал сейсморазведки и требует времени на восстановление приёмной линии.

Применение точечной регистрации сейсмических данных позволяет увереннее решать геологические задачи, поскольку увеличение доминантной частоты обеспечивает повышение разрешённости записи и сохранение высокого качества прослеживания отражающих границ.

Литература

1. Сейсморазведка. Справочник геофизика, 1981, Под ред. И.И. Гурвича и В.П. Номоконова. – Москва, Недра, 464 с.
2. Череповский А.В., 2017, Наземная сейсморазведка нового технологического уровня. Издание второе, дополненное. – Москва, ЕАГЕ Геомодель, 252 с.

Подробнее об авторах

Зарипов

Салават Мияссарович

Вице-президент, Директор по геофизическим работам АО «Росгеология». Опыт работы по специальности около 40 лет. Область интересов: геологоразведочные работы на нефть и газ, наземные

и скважинные сейсморазведочные исследования, аппаратура и методика сейсморазведочных работ.

Шангареев

Ренат Мухаметгалиевич

Директор департамента разведочной геофизики АО «Росгеология». Окончил Тюменский Государственный Нефтегазовый Университет (ТюмГНГУ) в 1999 г. Опыт работы по специальности более 20 лет. Область интересов: геологоразведочные работы на нефть и газ, наземные сейсмические исследования, аппаратура и методики сейсморазведочных работ.

Засыпкин

Александр Владимирович

Главный менеджер-геофизик отдела проектирования и геофизических технологий в Дирекции по геофизическим работам АО «Росгеология». Окончил Иркутский государственный технический университет в 2004 году по специальности «геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых» и Байкальский государственный университет экономики и права в 2008 году по специальности «экономическая теория». Опыт работы в отрасли около 20 лет.

Трофимов

Алексей Владимирович

Руководитель направления в Дирекции по геофизическим работам АО «Росгеология». Окончил Казанский государственный университет по специальности «Геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых» в 1997 г. Автор и соавтор 14 научных публикаций и докладов.

Область интересов: аппаратура, методика и технология сейсморазведочных работ, обработка и интерпретация сейсмических данных.

Череповский

Анатолий Викторович

Советник Первого заместителя Ген. директора АО «Росгеология», кандидат техн. наук. Окончил МГУ им. Ломоносова в 1980 г. Опыт работы в отрасли более 40 лет. Область интересов: аппаратура и методики сейсморазведочных работ. Автор и соавтор 42 научных публикаций и докладов, 2 монографий по наземной сейсморазведке и англо-русского словаря по прикладной геофизике. Автор образовательного курса лекций ЕАГЕ.

Кыштым

Денис Сергеевич

Начальник сейсмоотряда сейсморазведочной партии №8 АО «Якутскгеофизика», АО «Росгеология». Окончил Иркутский Государственный Технический Университет в 2006 г. по специальности «Геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых». Опыт работы по специальности более 15 лет. Область интересов: аппаратура и методики наземных сейсморазведочных работ.

Ковальский

Денис Геннадьевич

Главный геофизик ОП «Иркутское геофизическое подразделение», начальник геолого-геофизического отдела АО «Якутскгеофизика», АО «Росгеология». Окончил Уральский Государственный Горный Университет в 2007 г. Профессиональный опыт – 14 лет. Область интере-

сов: наземные сейсморазведочные работы. Автор 1 публикации.

Афанасьева

Светлана Александровна

Начальник геологического отдела Обособленного подразделения «Иркутское геофизическое подразделение», АО «Росгеология». Окончила Иркутский государственный университет в 2004 г. Автор и соавтор 3 статей.

Кривощёков

Андрей Леонидович

Начальник отдела комплексной интерпретации, подготовки отчетов и баз данных ОП «Иркутское геофизическое подразделение», АО «Росгеология». Окончил Иркутский политехнический институт в 1981 г. Опыт работы в отрасли 40 лет. Автор и соавтор 4 статей.

Бирюкова

Светлана Викторовна

Ведущий геофизик партии обработки и полевого сопровождения ОП «Иркутское геофизическое подразделение», АО «Росгеология». В 1995 году окончила Иркутский государственный технический университет по специальности «геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых». Опыт работы в отрасли 35 лет.