



## КАЧЕСТВО И КОЛИЧЕСТВО ВИБРОСЕЙСМИЧЕСКИХ ДАННЫХ И СООТНОШЕНИЕ СИГНАЛ / ПОМЕХА

**А.В. Череповский**

*Компания “Серсел”*

*123298, Москва, ул. Ирины Левченко, 1, кв. 56, Россия; e-mail: acherepovskij@yandex.ru*

Обсуждается изменение критериев качества полевых вибросейсмических данных на новом (пятом) технологическом уровне наземной сейсморазведки 3D, характеризующемся точечным возбуждением упругих колебаний и точечной их регистрацией, расширенным диапазоном частот, высокой плотностью наблюдений, высокой производительностью и почти непрерывной регистрацией данных. Показано, что традиционные методические приемы вибросейсмических работ, такие как группирование приемников и вертикальное накопление, более не являются необходимыми, если плотность наблюдений достаточно высокая. Супервайзерам предстоит переключиться с визуальных и количественных оценок исходных коррелограмм на контроль выбранных и утвержденных заказчиком технологий производства полевых работ.

*Полевые данные, вибросейсморазведка, контроль качества, сигнал, помеха, отношение сигнал / помеха, супервайзер*

### QUALITY AND QUANTITY OF VIBROSEIS DATA AND SIGNAL-TO-NOISE RATIO

**A.V. Cherepovsky**

*“Sercel” Company*

*123298, Moscow, St. Iriny Levchenko, 1, room 56, Russia; e-mail: acherepovskij@yandex.ru*

The criteria of field vibroseis data quality are changing at new (fifth) technological level of 3D land seismic characterized with single-source and single-sensor acquisition, wider bandwidth, high density, high productivity, and almost continuous data recording. It has been shown that traditional field procedures such as geophone grouping and vertical stacking are not necessary anymore if the trace density is high enough. Supervisors will change their focus from visual and quantitative estimation of raw correlated data to verification of the field techniques selected by the Client.

*Field data, vibroseis, quality control, signal, noise, S / N ratio, supervisor*

### ВВЕДЕНИЕ

Ранее нами было высказано предположение, что содержание контроля качества должно неизбежно трансформироваться при переходе к сейсморазведке нового (пятого) технологического уровня, характеризующегося точечным возбуждением упругих колебаний и точечной их регистрацией, широким диапазоном частот (до 5–6 октав), полной азимутальностью, высокой плотностью наблюдений (миллионы трасс на квадратный километр), высокой производительностью (тысячи виброточек в сутки) и почти непрерывной регистрацией данных (см. [Череповский, 2014б]). Новую стратегию сбора сейсморазведочных данных можно сформулировать так: регистрация всего волнового поля, включая помехи, с высокой пространственной плотностью, которая позволит эффективно подавить все виды помех и получить высокое отношение сигнал / помеха (С/П) *после обработки данных* [Череповский, 2014а,в]. Поэтому традиционные количественные меры контроля качества *исходных коррелограмм*, такие как энергия микросейсм до первых вступлений, расчет отношения С/П в двух прямоугольных окнах (до первых вступлений и после них), доминирующей частоты записи и т. д., более не ха-

рактеризуют качество сейсморазведочных материалов, полученных по новым высокоплотным методикам. По крайней мере, пороговые значения перечисленных параметров должны выбираться заказчиками гибко, с учетом условий возбуждения и регистрации сигнала, плотности трасс на квадратный километр, графа последующей обработки (а именно набора процедур шумоподавления) и решаемых геологических задач.

Методику наземных сейсмических исследований, сложившуюся в первое десятилетие XXI в., можно отнести к четвертому технологическому уровню [Бондарев и др., 2012], на котором *количественный контроль качества исходных данных* был необходим на этапе приемки полевых материалов [Белоусов, 2011]. Для этого технологического уровня типичный шаг возбуждения и приема составляет 50 м, а интервал между линиями возбуждения и приема – 300 м. При этом плотность трасс (т. е. произведение кратности ОГТ на количество бинов в 1 км<sup>2</sup>) не превышает 120–160 тысяч на 1 км<sup>2</sup>. Важнейшими и обязательными инструментами повышения качества исходных вибросейсмических данных считались:

1) большие группы приемников на базе 20–25 м, ослабляющие как микросейсмы, так и волны-помехи с определенными длинами волн;

2) большие группы виброисточников и накопление воздействий (до 6–8, а иногда до 12–16) на одном пункте возбуждения (ПВ). Прежде чем еще раз обсудить плюсы и минусы этих двух методических приемов, рассмотрим, как эволюционировало понятие “отношение сигнал / помеха” в отечественной сейсморазведке.

### ЧТО ТАКОЕ СИГНАЛ / ПОМЕХА?

Под соотношением С/П геофизики могут понимать совершенно разные характеристики сейсмической записи. В классическом справочнике геофизика советских времен можно прочитать, что “наиболее полную информацию о свойствах поля полезных сигналов и случайных помех дает вычисление их автокорреляционных функций и, соответственно, энергетических спектров” [Сейсморазведка, 1981]. В качестве иллюстрации в справочнике приведен фрагмент временного разреза, в двух окнах которого энергия полезных сигналов и энергия помех в суммарном спектре составляла 87 % против 13 % и 95 % против 5 %, что позволяло получить отношение С/П равным 6.7 и 19 соответственно. Фактически, такая оценка отношения С/П является прямой мерой когерентности записи и наиболее адекватно рассчитывается для временных разрезов с субпараллельными отражающими границами.

Вместе с тем в современной российской геофизической практике под отношением С/П в подавляющем большинстве случаев подразумевается отношение энергии записи (или среднеквадратических амплитуд записи) в двух прямоугольных окнах: на уровне целевых горизонтов (“сигнал”) и до первых вступлений (“микросейсмы”). Этот второй способ расчета отношения С/П раньше более объективно называли “оценкой энергии взрыва”. Такой контроль действительно важен во взрывной сейсморазведке, где условия возбуждения нестабильны, и качество записи может снижаться по многим техническим причинам (неполная детонация заряда, плохая укупорка скважины, недобуры и т. п.). Что касается вибрационной сейсморазведки, то современные виброисточники характеризуются очень высокой стабильностью, и различия в качестве полученных записей объясняются, как правило, не техническими причинами, а поверхностными и приповерхностными условиями. Поэтому повторная отработка виброточки со смещением ее на несколько метров от планового положения или большее количество накоплений зачастую не приводят к заметному улучшению характеристик первичных корелограмм и окончательных материалов. Гораздо более эффективный путь получения высококачественных сейсмических изображений среды – увеличение количества одно- или двукратно обработанных виброточек на 1 км<sup>2</sup>, а не многократное накопление на каждой виброточке при большом шаге между ними и между линиями возбуждения.

### ОБ ОДИНОЧНЫХ ПРИЕМНИКАХ

В современной нефтегазовой сейсморазведке – как при работах 2D, так и 3D – применяются стандартные линейные группы длиной 20–25 м и состоящие из 9–12 электродинамических сейсмоприемников (гео-

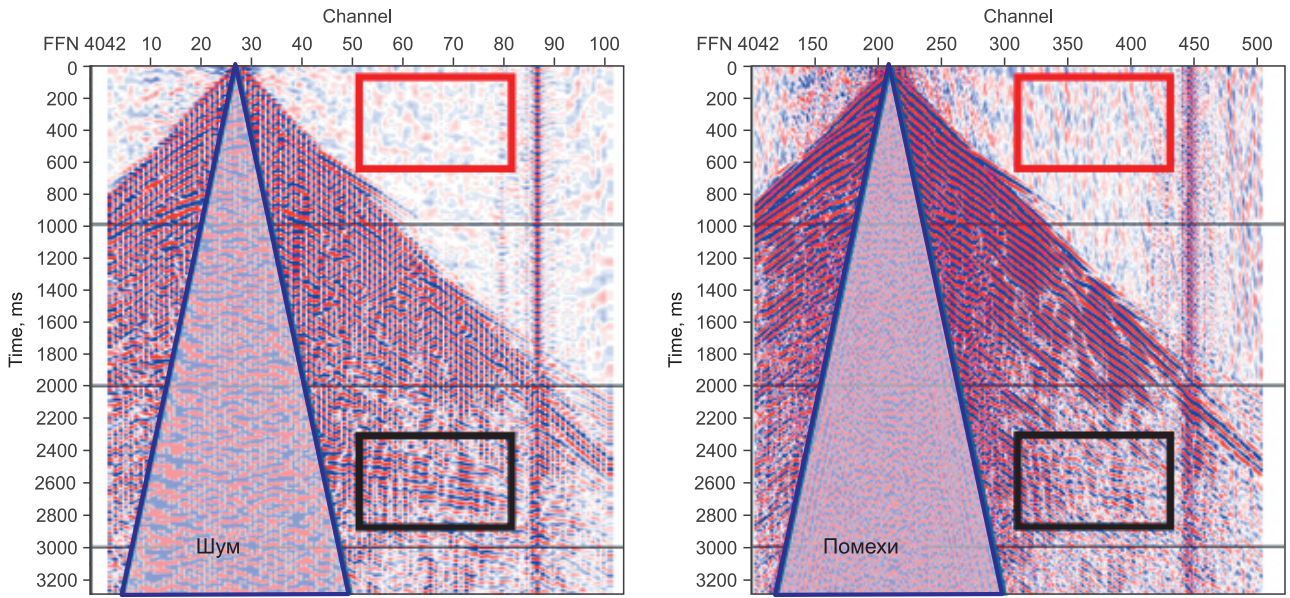
фонов). Как правило, заказчики заранее задают конфигурацию приемной группы, поэтому подрядчикам уже не требуется “отстрел” и анализ волнового поля для выбора оптимальных параметров приемной группы. Выбор группы всегда был непростым и требующим компромисса: с одной стороны, оптимальные группы должны подавлять наиболее интенсивные волны-помехи (с определенными кажущимися скоростями), а с другой – пропускать без искажений полезные отраженные волны [Сейсморазведка, 1981]. Мы уже показывали на синтетических и реальных данных, что даже относительно короткие группы сейсмоприемников во многих ситуациях существенно искажают амплитудные и частотные характеристики отраженных волн [Череповский, 2010, 2012]. Проявляющаяся на больших удалениях “кинематика внутри группы” (из-за криволинейности фронта волны и неперпендикулярности подхода лучей к приемным группам) может более негативно влиять на сохранение истинных амплитуд и достоверность АВО-анализа, чем “статика внутри группы” (из-за рельефа дневной поверхности и неоднородностей в зоне малых скоростей (ЗМС) и верхней части разреза (ВЧР)), хотя второму фактору в геофизической литературе уделяется гораздо больше внимания.

Различные одиночные приемники – обычные или высокочувствительные электродинамические геофоны-велосиметры, геофоны-акселерометры или миниатюрные цифровые акселерометры (на основе микроэлектромеханических систем) – все чаще применяются при высокоплотной сейсморазведке 3D. При этом исходные данные, полученные с одиночными приемниками, зачастую выглядят очень зашумленными, поскольку микросейсмы, поверхностные волны и другие волны-помехи регистрируются ими без ослабления. И сегодня далеко не все российские геофизики-супервайзеры готовы принять высокий уровень шума на исходных данных, полученных с одиночными приемниками, как стандарт сейсморазведки пятого технологического уровня.

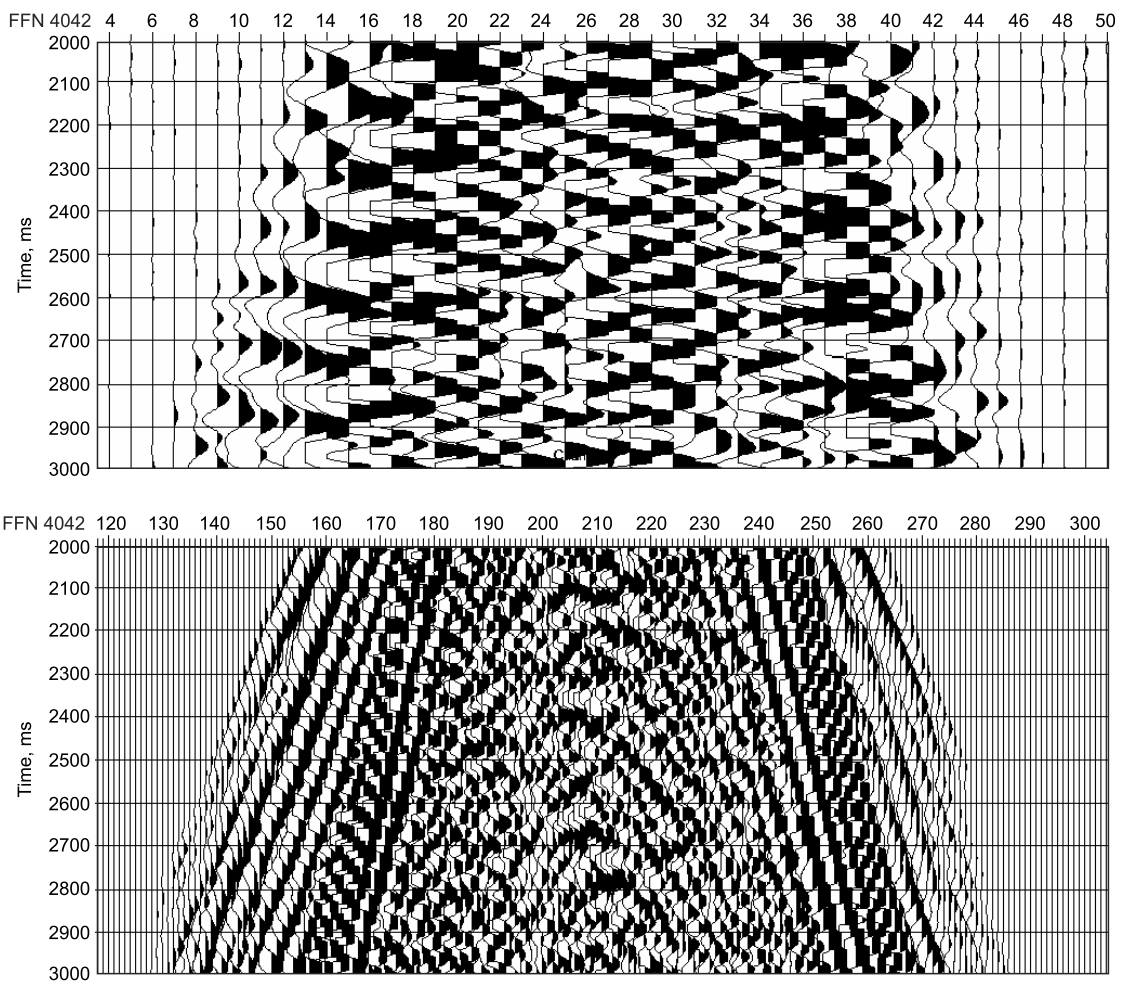
Сравним исходные записи, полученные на одном и том же опытном профиле холдингом “Геосейс”: 1) со стандартными группами, состоящими из двенадцати 10-герцевых сейсмоприемников GS-20DX и установленными с шагом 50 м, 2) с одиночными высокочувствительными 5-герцевыми сейсмоприемниками SG-5, установленными с шагом 12,5 м (рис. 1).

Видно, что в “сигнальных окнах”, выделенных черным цветом, группирование обеспечивает гораздо более высокую когерентность записи, и отношение С/П, оцениваемое по взаимной корреляции трасс, выше для групп приемников в 4 или 5 раз (в зависимости от применяемых алгоритмов). Если соотношение С/П определяется как отношение сигнал / микросейсмы (т. е. рассчитывается отношение среднеквадратических амплитуд записи в нижних (черных) и верхних (красных) окнах соответственно), то в выделенных на рис. 1 окнах для групп геофонов мы получим величину 8.0, а для одиночных датчиков – только 1.9. Это различие объясняется, в основном, подавлением случайных помех группами (в квадратный корень из количества приемников в группах).

Хорошо известно, что при одинаковом шаге сейсмических наблюдений группирование приемников обеспечивает более высокое отношение С/П (при любом способе его расчета) как на исходных записях, так и на окончательных суммарных разрезах. Но си-



**Рис. 1.** Сейсмограммы, полученные на одном профиле с группами из 12 стандартных сейсмоприемников с шагом 50 м (а) и с одиночными высокочувствительными сейсмоприемниками с шагом 12,5 м (б).



**Рис. 2.** Фрагменты волновых полей в “конусе отчаяния” на низкочастотном полосовом фильтре (5–10 Гц). Верхняя сейсмограмма получена с группами из 12 стандартных 10-герцевых сейсмоприемников с шагом 50 м, нижняя – с одиночными высокочувствительными 5-герцевыми сейсмоприемниками с шагом 12,5 м. Материалы опытных работ холдинга “Геосейс”.



туация меняется, если шаг наблюдений с одиночными датчиками гораздо меньше, как в рассматриваемом нами случае. Очевидное преимущество анализируемой сейсмограммы с одиночными датчиками – это совершенно другой вид конуса помех, который зарубежные обработчики раньше называли “конусом отчаяния” и исключали из обработки (рис. 2).

Если на сейсмограмме, полученной со стандартными группами приемников с шагом 50 м, в этом конусе доминирует некоррелированный шум из-за сильного аляйсинга низкоскоростных волн-помех, то на сейсмограмме с одиночными датчиками (с шагом 12,5 м) помехи записаны как регулярные с однозначно определяемыми кажущимися скоростями. Отметим, что создается ложное зрительное ощущение, что доминирующая частота записи в конусе помех, зарегистрированном одиночными 5-герцевыми приемниками, гораздо выше. В действительности на этой сейсмограмме доминирующая частота записи во всем интервале времен регистрации на 1 Гц ниже, чем на сейсмограмме с группами стандартных геофонов, а в окне времен регистрации с 2 до 3 с, где почти половина каналов попадает в “конус отчаяния”, – на 5,5 Гц ниже. Это объясняется двумя причинами: отсутствием подавления низкочастотных волн-помех одиночными высокочувствительными геофонами и их низкой собственной частотой (5 Гц).

Обратим внимание на то, что при достаточно высокой плотности наблюдений волны-помехи в “конусе отчаяния” могут сначала использоваться для получения дополнительной информации о скоростях в ЗМС, уточнения модели ВЧР и расчета статпоправок, а затем, на этапе окончательной обработки, эффективно подавляться с помощью двумерных и пространственных фильтров, что позволяет сохранять полезные отраженные волны во всем диапазоне удалений.

#### О КОНФИГУРАЦИИ ПРИЕМНОЙ ГРУППЫ И УРОВНЕ ШУМА

Есть несколько факторов, которые зачастую игнорируются или недооцениваются полевыми геофизиками и представителями заказчиков при оценке качества полевых записей и выборе “допустимого уровня шума в микровольтах”. В большинстве случаев выбирается одно значение уровня шума для всех партий, работающих в сходных природных условиях, без учета параметров регистрации сейсмических данных (таких как амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) используемых датчиков, их количество в группах, тип соединений в группах (последовательный или параллельный), расстояние между приемниками в группах, измеряемый параметр колебаний частиц грунта (датчики скорости или ускорения) и параметров возбуждения сигнала (уровень отбора мощности вибраторов, их количество в группах, длительность свип-сигнала, количество накоплений и т. д.)). Если параметры возбуждения сигнала и параметры приемных групп различаются на разных площадях, нужно пересматривать допустимый уровень микросейсм, доминирующей частоты записи и т. д.

Заказчиков и подрядчиков сейсморазведочных работ интересует не только уровень регистрируемых помех окружающей среды, но и относительный уровень сигнала, т. е. соотношение С/П. Уровень регистрируемого сигнала будет пропорционален чувствительности геофонов и количеству последовательно соединенных геофонов в группе, но не будет зависеть

#### Чувствительность и соотношение С/П при различных конфигурациях пункта приема

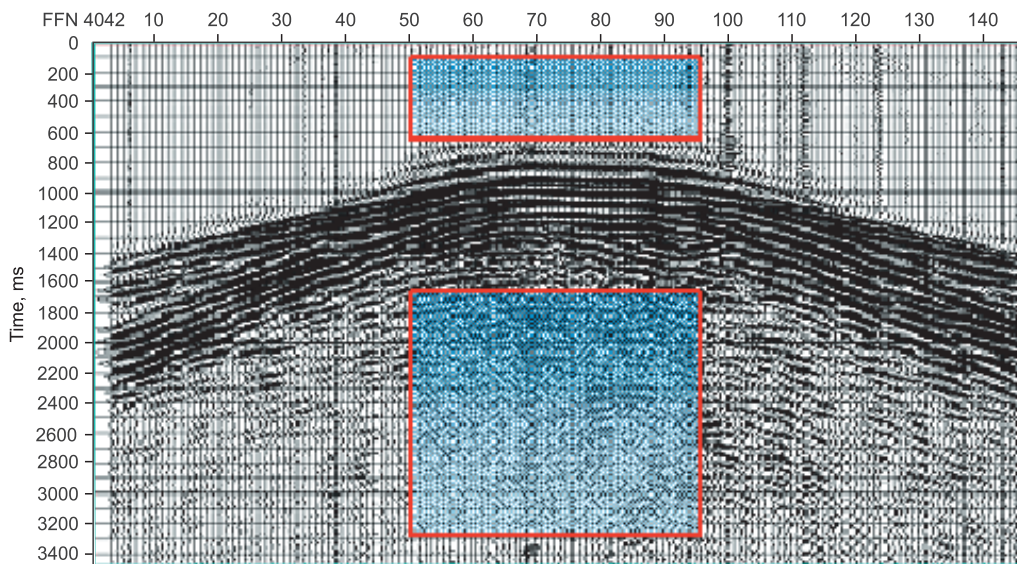
|                                      | Тип группы               |                       |                  |
|--------------------------------------|--------------------------|-----------------------|------------------|
|                                      | Линейная, 6×2 приемников | В точке, 6 приемников | Одиночный датчик |
| Чувствительность приемника, В/(м/с)  | 20                       | 28                    | 80               |
| Чувствительность группы, В/(м/с)     | 120                      | 168                   | 80               |
| Регистрируемые микросейсм, у.е. (×1) | 34,7 (120/√12)           | 168                   | 80               |
| Регистрируемый сигнал, у.е. (×10)    | 1200                     | 1680                  | 800              |
| Соотношение сигнал/микросейсм        | 34,6                     | 10                    | 10               |

от расстояния между ними в группе (поскольку мы считаем, что сигнал подходит синфазно ко всем приемникам в группе). Рассмотрим три конфигурации приемной группы (таблица): 1) линейная группа из 12 приемников с чувствительностью по 20 В/(м/с), а именно два параллельно соединенных стринга по шесть последовательно соединенных приемников; 2) группа “в точке” из шести последовательно соединенных приемников с чувствительностью по 28 В/(м/с); 3) одиночный высокочувствительный геофон с чувствительностью 80 В/(м/с). Условно примем, что амплитуда сигнала превышает амплитуду микросейсм в 10 раз. Тогда мы получаем, что вторая конфигурация пункта приема обеспечивает самую высокую чувствительность, самый высокий уровень регистрируемого сигнала, но и самый высокий уровень микросейсм. В результате соотношение сигнал / микросейсм у второй конфигурации будет таким же, как и у третьей конфигурации (одиночный высокочувствительный геофон). Вместе с тем регистрируемые микросейсм во много раз ниже для первой конфигурации, что обеспечивает ей явное преимущество и объясняет повсеместное применение группирования приемников на четвертом технологическом уровне сейсморазведки, когда акцент делается на качестве исходных материалов в традиционном представлении.

Тем не менее только точечный прием обеспечивает достоверность регистрируемых амплитуд и более высокую разрешенность обработанных материалов и информативность окончательных изображений геологической среды при использовании методик наблюдений, свойственных пятому технологическому уровню. Опыт промышленного применения технологий высокочувствительной сейсмической съемки с одиночными датчиками в Западной и Восточной Сибири уже есть, и заметно более высокий потенциал результатов обработки новых массивов данных, полученных в 2013–2014 гг., считается установленным [Кузнецов, 2014].

#### О ВЕРТИКАЛЬНОМ НАКАПЛИВАНИИ

Накапливание записей, полученных с вибрационными источниками, – общепринятый способ ослабления микросейсм и повышения отношения С/П на исходных коррелограммах. Однако эффект от увеличения количества суммируемых воздействий не всегда бывает выраженным или вообще положитель-



**Рис. 3.** Коррелограмма с непродольной линии наблюдения. Длина записи 3,5 с.

Выделены два окна для анализа АЧХ: верхнее окно длиной 500 мс для оценки параметров микросейсм, нижнее окно длиной 1500 мс для оценки параметров сигнала. Материалы опытных работ ОАО “Башнефтегеофизика”.

ным. G. Baeten и H. van der Heuden в статье [2008], посвященной результатам опытных вибросейсмических работ в Омане, проиллюстрировали, что на жестком грунте (каменистая пустыня) не наблюдается четкой зависимости отношения сигнал / шум от количества вибровоздействий, даже при очень большом их количестве (до 64).

При зимних тестах в Западной Сибири, выполненных компанией “Интегра-Геофизика” в 2011 г., было установлено, что ширина спектра записи существенно уменьшается при большом количестве накоплений (см.: [Большат, Каримов, 2012]). Соотношение сигнал / шум повышалось благодаря статистическому ослаблению микросейсм только до 6–8 накоплений, а дальнейшее увеличение количества суммируемых воздействий начинало ухудшать результат.

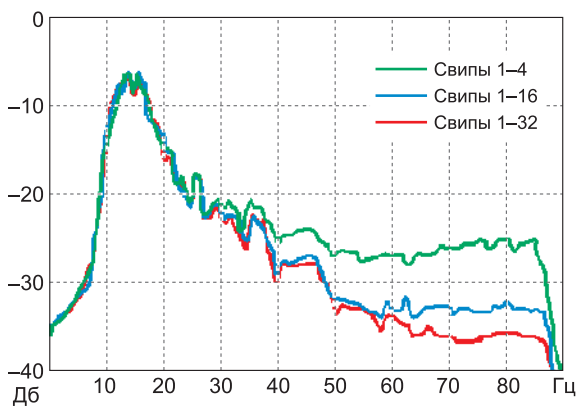
Остановимся подробнее на результатах опытных работ, выполненных в одной из вибропартий ОАО “Башнефтегеофизика” летом 2012 г. в Оренбургской области, в условиях сухого и довольно твердого грунта. Параметры возбуждения свип-сигнала были до-

статочно стандартными: длина 10 с, диапазон частот 10–90 Гц. Исследования были нацелены на решение следующих задач [Череповский, Гафаров, 2013]:

- изучить зависимость регистрируемого уровня микросейсм от количества накоплений;
- изучить зависимость регистрируемого уровня сигнала от количества накоплений;
- оценить зависимость отношения сигнал / микросейсм от количества накоплений;
- оценить зависимость АЧХ микросейсм и сигнала от количества накоплений.

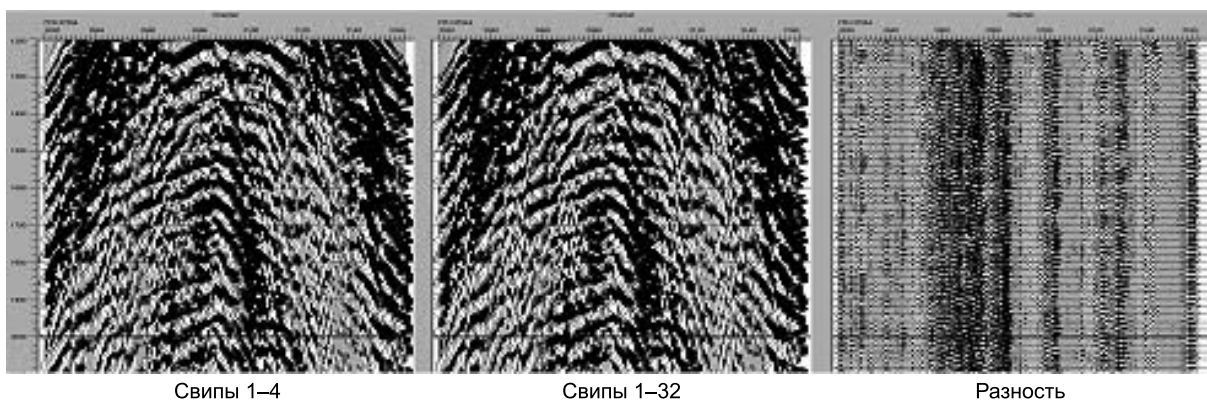
На одной из виброточек было зарегистрировано восемь серий по четыре виброграммы 3D, что позволило получить восемь нормированных коррелограмм с постоянным количеством накоплений (по 4) и восемь нормированных коррелограмм с увеличивающимся количеством накоплений (от 4 до 32 с инкрементом 4). Прежде всего нужно было удостовериться в постоянстве уровня микросейсм и сигнала в двух прямоугольных окнах, до и после первых вступлений, в течение всего эксперимента (32 свипа). Анализ среднеквадратических амплитуд для восьми коррелограмм с постоянным количеством накоплений (по 4) был выполнен в широких окнах: 100–600 мс для микросейсм и 1700–3200 мс для “сигнала” (рис. 3). Анализ показал, что уровень микросейсм (из-за порывов ветра) изменялся довольно значительно (на 33 %), в то время как уровень “сигнала” – не более чем на 3 %. В результате соотношение сигнал / микросейсм колебалось незначительно, в пределах значений 6–7. Доминирующая частота записи в нижнем “сигнальном” окне была постоянной и составляла 17 Гц, средняя частота записи была также достаточно стабильной (30–32 Гц). Ширина спектра записи колебалась в диапазоне 27–35 Гц, составляя в среднем 30 Гц.

Основное внимание было уделено анализу восьми нормированных коррелограмм с увеличивающимся количеством накоплений (от 4 до 32 с инкрементом 4). Как и в тестах, описанных специалистами компании “Интегра-Геофизика” [Большат, Каримов, 2012], в данном эксперименте наблюдалось заметное



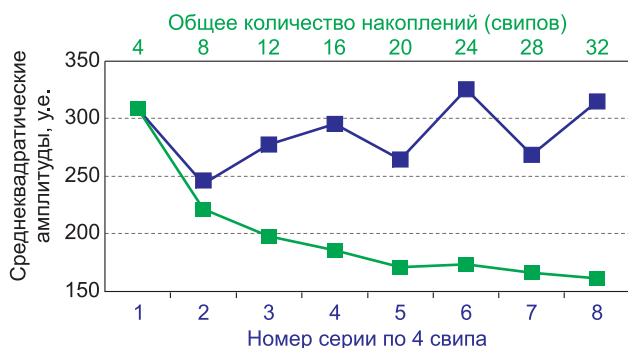
**Рис. 4.** АЧХ коррелограмм (в “сигнальном” окне от 1700 до 3200 мс) в зависимости от количества накоплений. Диапазон частот свип-сигнала 10–90 Гц.



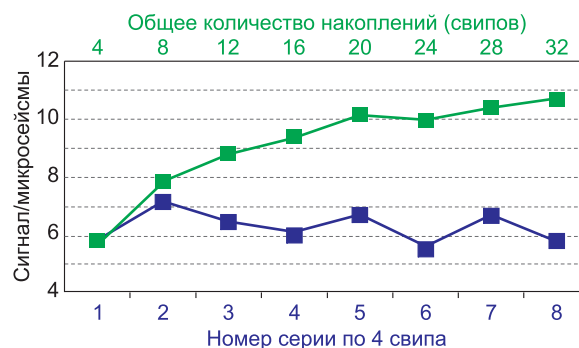


**Рис. 5.** Фрагменты нормированных коррелограмм с разным количеством накоплений (4 и 32) и их разность, содержащая преимущественно ветровую помеху.

Показаны времена регистрации от 1200 до 2100 мс. Материалы опытных работ ОАО “Башнефтегеофизика”.



**Рис. 6.** Среднеквадратические амплитуды микросейсм, рассчитанные при постоянном и увеличивающемся количестве накоплений по нормированным коррелограммам. Окно микросейсм показано на рис. 3.



**Рис. 7.** Отношение сигнал / микросейсм, рассчитанное при постоянном и увеличивающемся количестве накоплений по нормированным коррелограммам. Окна микросейсм и “сигнала” показаны на рис. 3.

ослабление высоких частот записи в “сигнальном” окне при увеличении накоплений (рис. 4). Если сравнивать коррелограммы с 4 и 32 свипами, то амплитуды ослабевают примерно на 6 дБ на частоте 50 Гц и на 11 дБ на частоте 80 Гц. Хотя доминирующая частота оставалась постоянной и равной 17 Гц, а средняя частота слегка снизилась – от 31 до 29 Гц, ширина спектра записи существенно уменьшилась – от 33 Гц при 4 свипах до 22 Гц при 32 свипах.

Однако и визуальный анализ записи в “сигнальном” окне (1700–3200 мс) на различных полосовых фильтрах, и вычитание нормированных коррелограмм с разным количеством накоплений друг из друга показали, что ослабление высоких частот записи при большом количестве накоплений в нашем случае связано только со статистическим подавлением микросейсм, в то время как “сигнал” (содержащий и регулярные волны-помехи, генерируемые источником) остается практически неизменным (рис. 5).

Что касается уровня микросейсм, то на нормированных коррелограммах с увеличивающимся количеством накоплений уровень микросейсм заметно (примерно в 2 раза) снижается при увеличении накоплений от 4 до 20 (рис. 6). Это говорит о том, что микросейсм в заданном нами окне шириной 500 мс действительно близки к абсолютно случайным помехам, ко-

торые ослабляются в квадратный корень из количества суммируемых записей, и для абсолютно случайной помехи мы бы увидели ослабление в 2 раза при 4 накоплениях и в 4,47 раза при 20 накоплениях, что близко к фактическому соотношению среднеквадратических амплитуд микросейсм при данных количествах накоплений.

Поскольку в обсуждаемых тестах наблюдается очень выдержанный уровень нормированных среднеквадратических амплитуд сигнала (в окне 1700–3200 мс), а описанные выше среднеквадратические амплитуды микросейсм постепенно снижаются примерно в 2 раза, отношение сигнал / микросейсм плавно растет – от 6 до 11, но рост практически прекращается после 20 накоплений (рис. 7). Таким образом, применение очень большого количества накоплений – не самый эффективный, но достаточно времязатратный (и, соответственно, дорогой) путь повышения качества исходных коррелограмм.

### ТОЧЕЧНАЯ РЕГИСТРАЦИЯ И ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНАЯ ВИБРОСЕЙСМОРАЗВЕДКА

Когда точечный прием сочетается с новой стратегией сбора вибросейсмических данных (один-два виброисточника и один-два свипа на каждой вибро-

точке), то отношение сигнал / микросейсмы на исходных коррелограммах падает еще ниже, что затрудняет оценку качества полевых сейсмических данных в реальном времени или делает ее почти невозможной при таких высокопроизводительных методиках с перекрывающимися или одновременными свип-сигналами, как *slip-sweep*, *DSSS* или *ISS*. В зарубежной литературе можно найти много примеров того, что высокоплотные вибросейсмические съемки, несмотря на зашумленность исходных данных, позволяют скачкообразно повысить информативность и разрешенность окончательных изображений среды. Действительно, высокая плотность наблюдений и, соответственно, высокая кратность суммирования по ОГТ – при хорошем распределении трасс по азимутам и удалениям в бинах – обеспечивает эффективное подавление всех типов помех, включая многократные волны, в то время как старая стратегия сбора вибросейсмических данных (большое количество накоплений, но и большой шаг между виброточками и относительно низкая кратность по ОГТ) эффективна лишь для подавления случайных и (в благоприятных случаях) нестационарных помех на исходных записях.

Преимущества нового технологического уровня вибросейсморазведки демонстрируются во многих зарубежных публикациях уже в течение 7–8 лет. Например, J. Meunier с соавторами [2008] показал, что благодаря применению одиночных вибраторов количество виброточек на площади работ было увеличено в 4 раза, хотя общее количество свипов на 1 км<sup>2</sup> уменьшилось на треть. Этот методический прием позволил исключить отпечаток системы наблюдений, повысить верхнюю частоту сигнала от 70 до 80 Гц и получить лучшее изображение среды – даже для самого глубокого горизонта на времени 2,2 с.

Приведем яркие результаты недавних высокоплотных вибросейсмических работ на открытой местности в Иордании [Stone, Bouska, 2013]. С целью получить детальное изображение целевого интервала, в котором не удавалось получить коррелируемых отражений по результатам стандартных работ 2D и 3D, методика новых работ 3D была кардинально изменена для эффективного использования мега-партии с 24 тяжелыми вибраторами, из которых 18 постоянно работали в трех группах (по 6) по методике перекрывающихся свип-сигналов (*slip-sweep* в сочетании с *DSSS*). Вибраторы работали круглосуточно по равномерной сетке 50×50 м (400 виброточек на 1 км<sup>2</sup>) с производительностью более 1000 Вт/ч. Плотность трасс составила 4,8 млн на 1 км<sup>2</sup>, и благодаря широкой азимутальности и высокой плотности трасс для подавления импульсных помех весьма эффективно применялись статистические методы, а для подавления волн-помех – фильтрация 3D *FK* и *FX*. Престековые данные стали пригодными для AVO-анализа, результаты которого позволили рассчитать массив упругих импедансов, по которым были уверенно разграничены области распространения песчаников и глин в целевом интервале.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В последние годы все шире применяется вибросейсморазведка 3D нового (пятого) технологического уровня, характеризующегося резким увеличением количества регистрируемых каналов (десятки тысяч, а иногда более 100 тысяч), повышением плотности наб-

людений (до нескольких миллионов трасс на 1 км<sup>2</sup>), широким диапазоном частот (до 5–6 октав), точечным возбуждением сигнала и его точечной регистрацией, широкой или полной азимутальностью, внедрением высокопроизводительных методик работ. Исходные данные, собираемые по новым высокоплотным и высокопроизводительным вибросейсмическим методикам, характеризуются более низким отношением С/П, чем исходные данные, полученные по стандартным методикам с группами виброисточников и группами приемников. При этом под отношением С/П обычно подразумевается отношение амплитуд записи в “сигнальном окне” к амплитудам микросейсм в окне до первых вступлений. Этот параметр не должен иметь большого значения на новом технологическом уровне вибросейсморазведки, позволяющем получить высокоплотные массивы данных с отличным распределением удалений и азимутов, эффективно подавить все виды помех на этапе обработки и получить более достоверные результаты сейсмической инверсии.

*Автор выражает признательность Д. Херольду (Parallel Geoscience Corp., США) за пакет программ SPW, предоставленный для анализа полевых данных и расчета их атрибутов. Автор благодарен руководству ОАО “Башнефтегеофизика” и холдинга “Геосейс” за разрешение использовать результаты их опытно-методических работ.*

## Литература

- Белоусов А.В.** Стандартные оценки качества полевого сейсмического материала // Приборы и системы разведочной геофизики. 2011. № 03(37). С. 31–36.
- Большат В.М., Каримов И.И.** О влиянии параметров вибрационного возбуждения на качество сейсмического полевого материала // Приборы и системы разведочной геофизики. 2012. № 03(41). С. 65–72.
- Бондарев В.И., Крылатков С.М., Курашов И.А.** Возможные пути совершенствования метода многократных перекрытий в сейсморазведке // Тезисы 14-й Международной науч.-практ. конф. по проблемам комплексной интерпретации геолого-геофиз. данных “Геомодель – 2012” (Геленджик, 10–14 сент. 2012 г.). Геленджик, 2014.
- Кузнецов В.И.** Первый опыт промышленного применения технологии сверхплотной сейсмической съемки на севере Западной Сибири // Приборы и системы разведочной геофизики. 2014. № 04(50). С. 93–98.
- Сейсморазведка.** Справочник геофизика / под ред. И.И. Гурвича, В.П. Номоконова. М.: Недра, 1981. 464 с.
- Череповский А.В.** Пришло ли время отказаться от группирования в пользу одиночных сейсмоприемников? // Геофизика. 2010. № 3. С. 22–28.
- Череповский А.В.** Сейсморазведка с одиночными приемниками и источниками: обзор современных технологий и проектирование съемок // Образовательное турне EAGE. М., 2012. 133 с.
- Череповский А.В.** Наземная сейсморазведка нового технологического уровня // Геофизика. 2014а. № 2. С. 75–83.
- Череповский А.В.** Полевой контроль качества на новом технологическом уровне наземной сейсморазведки // Геофизика. 2014б. № 4. С. 23–32.
- Череповский А.В.** Сейсморазведка нового технологического уровня и отношение сигнал / помеха // Тезисы 16-й науч.-практ. конф. по вопросам геологоразведки и разработки месторождений нефти и газа “Геомодель – 2014” (Геленджик, 8–11 сент. 2014 г.). Геленджик, 2014в.

**Череповский А.В., Гафаров Р.М.** Влияние количества накоплений на характеристики вибросейсмических записей: практическое исследование // Тюмень-2013: Новые геотехнологии для старых провинций : тез. конф. (Тюмень, 25–29 марта 2013 г.). Тюмень, 2013.

**Baeten G., Heuden H. van der.** Improving S/N for high frequencies // The Leading Edge. 2008. Feb. P. 144–153.

**Meunier J., Bianchi Th., Postel J.-J., Taylor R.** The future of vibroseis for high-density wide-azimuth land acquisition // First Break. 2008. V. 26. P. 87–91.

**Stone J.A., Bouska J.** Distance separated simultaneous sweeping, providing record-breaking productivity and a step-change in data quality in BP Jordan's Risha seismic survey // First Break. 2013. V. 31. P. 53–60.

*Поступила 19 марта 2015 г.,  
в окончательном варианте – 30 марта 2015 г.*

#### КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

**ЧЕРЕПОВСКИЙ Анатолий Викторович** – кандидат технических наук, региональный геофизик компании “Серсель”.

E-mail: [acherepovskij@yandex.ru](mailto:acherepovskij@yandex.ru)