



О НЕКОТОРЫХ ПРИЕМАХ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ВИБРАЦИОННЫХ ЗАПИСЕЙ ПРИ РАБОТАХ ГСЗ НА ОПОРНЫХ ПРОФИЛЯХ НА ВОСТОКЕ РОССИИ

В. М. Соловьев*, И. Е. Романенко*, С. А. Елагин*, В. Н. Кашун*

На большом количестве сейсмического материала с опорных профилей показаны приемы получения качественного материала от мощных вибраторов: повышение интенсивности излучения за счет накопления сеансов, группирования вибраторов, а также улучшение отношения сигнал/шум при использовании оптимальных условий приема. Использование специальных процедур цифровой обработки виброграмм на основе суммирования фрагментов записей с минимальным уровнем шумов позволяет существенно поднять качество полевых вибрационных данных до уровня, в ряде случаев сравнимого с данными от мощных химических взрывов. Даны рекомендации по улучшению вибрационных записей при дальнейших работах методом ГСЗ на востоке России.

Ключевые слова: глубинное сейсмическое зондирование, 40-тонные вибрационные источники, оптимальные условия излучения, коррелограммы, виброграммы, группирование.

ON SOME TECHNIQUES FOR IMPROVING THE QUALITY OF VIBRATING RECORDS DURING DSS ON BASIC PROFILES IN THE EAST OF RUSSIA

V. M. Solovyev, I. E. Romanenko, S. A. Elagin, V. N. Kashun

Techniques for receiving qualitative data from powerful vibrators are shown on considerable quantity of seismic material obtained on the basic profiles. These techniques include the increase of radiation intensity through the accumulation of sessions, vibrators grouping, and the improvement of the signal/noise relation when optimum conditions of reception are used. Special procedures for digital processing of vibrorecords on the basis of stacking fragments of records with a minimum noise level allow the quality of field vibrating data to be improved essentially to the level comparable in some cases with the data from powerful chemical explosions. Some recommendations on the improvement of vibrating records at further DSS studies in the East of Russia are given.

Key words: deep seismic sounding (DSS), 40-tonn vibrating sources, optimum conditions of radiation, correlograms, vibrorecords, grouping.

Восточная Сибирь и Дальний Восток занимают более половины площади Российской Федерации. Около 2,0 млн км² составляют акватории сопредельных восточно-арктических и дальневосточных морей. Регион имеет огромное экономическое и геополитическое значение. В его пределах открыто значительное количество месторождений нефти, газа и рудных полезных ископаемых. С 2001 г. на данной территории Комитет по недропользованию (Роснедра) выполняет комплексные геофизические исследования на опорных профилях (геотрансектах), призванные закрыть еще существующие «белые пятна»: десятки тысяч квадратных километров, не охваченные геофизическими, и прежде всего сейсмическими исследованиями [5, 11, 12]. К настоящему времени здесь отработаны комплексные геофизические профили 2-ДВ (п-ов Кони – о. Врангеля), 2-ДВ-А (Певек – Валунистое – Анадырь – Хатырка), комплексный (морской и сухопутный) профиль р. Паляваам – мыс Биллингс – о. Врангеля и фрагмент профиля 3-ДВ на участке пос. Джалинда – пос. Ниж. Бестях – пос. Теплый Ключ. В состав комплекса сейсмических исследований входят ра-

боты методом глубинного сейсмического зондирования (ГСЗ) с применением взрывных и вибрационных источников [2, 9, 10, 12]. При использовании взрывных источников возбуждения для получения качественных записей с продольными волнами от поверхности Мохо в первых вступлениях на удалениях 200–300 км масса зарядов, которые рассредоточиваются на большой площади водоемов, достигает огромной величины – 5–6 т тротила [12, 13]. Связано это с небольшой глубиной озер и болот, используемых для взрывов в Якутии и на Северо-Востоке России [12, 13, 15] (по сравнению с глубокими горными водоемами в Байкальской рифтовой зоне) [3, 6, 8] и с высоким уровнем помех от ветра в северных широтах. При обработке северных фрагментов профиля 2-ДВ-А в непосредственной близости от Северного Ледовитого океана ветер не стихал практически круглосуточно, поэтому на значительных удалениях даже от крупных зарядов не всегда были получены качественные сейсмограммы. Вибрационный сигнал на сейсмограммах примерно на два порядка слабее взрывного [1, 7], и для его выделения из шумов необходимо использовать специальные процедуры корреляционной обработки [4, 7, 16]. Далее описаны апробированные на практике глу-

* АСФ ГС СО РАН (Новосибирск)

бинных вибросейсмических исследований на геотрансектах на востоке России технологические приемы повышения качества первичных полевых материалов, а также специальные процедуры камеральной цифровой обработки виброграмм.

Полевой эксперимент

Пример реализуемой системы наблюдений ГСЗ с мощными вибраторами на одном из комплексных профилей на Востоке России представлен на рис. 1, а. Расстояния между виброисточниками ЦВ-40 (см. технические характеристики, рис. 1, б) составляли в среднем 30–40 км. Пункты вибрационного возбуждения размещались в основном на насыпных грунтах (вдоль федеральных и региональных трасс) либо, если появлялась такая возможность, в поймах рек с мощным низкоскоростным грунтом. Рабочие частотные диапазоны зондирующих сигналов от вибратора менялись в зависимости от используемых дебалансов: 6,93–10,35 Гц на тяжелых дебалансах, 8–11,5 Гц – на средних и легких; длительность сеансов составляла в среднем 45–50 мин.

Технические характеристики вибросейсмического комплекса на базе виброисточника ЦВ-40

Амплитуда возмущающей силы	40 т
Рабочий диапазон частот	4–12,5 Гц
Режим излучения	Монохром, ЛЧМ свип-сигнал
Площадь излучающей платформы	10 м ²
Электропривод	Дизель-электро- станция N = 100 кВт
Система управления	Автомобиль «Зил-131» (кунг)
Габариты (без блока двигателей)	4,3×2,3×1,93 м
Общий вес	60 т

Регистрация на профиле осуществлялась в пунктах регистрации, размещенных в среднем через 5 км (см. рис. 1, а). В качестве регистрирующей аппаратуры в последние годы применялись 24-разрядные четырехканальные станции «РОСА-А» и трехканальные регистраторы «Байкал-АС» с группами вертикальных приборов СВ-5 и трехкомпонентными приборами GS-20DX (см. рис. 1, б). Координаты установки сейсмоприемников и источников возбуждения определялись с помощью GPS-приемников «Garmin» и высокоточной геодезической аппаратуры «Sokkia GSR 1700 CSX». Расстановка аппаратуры и перевозка виброкомплексов производились воздушным (вертолеты МИ-8) и наземным (КамАЗ, ГАЗ-66, УАЗ, автокран) транспортом и гусеничными вездеходами (типа ГАЗ-71).

Технологические приемы повышения разрешающей способности и качества коррелограмм в полевых условиях

В области приема. С одной стороны, приемы широко известны и применялись ранее при

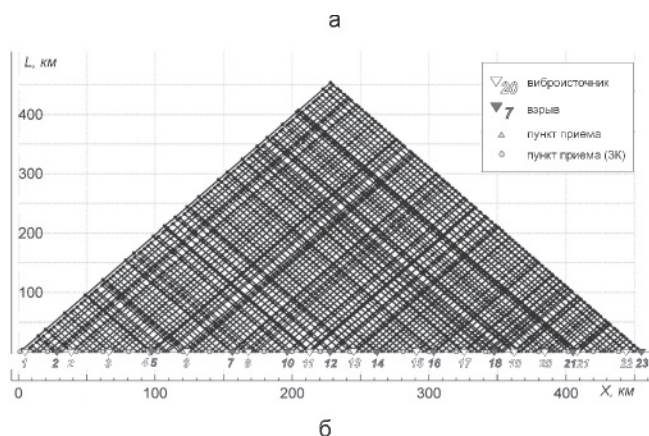


Рис. 1. Пример системы наблюдений (а), виброисточника и регистрирующей аппаратуры (б) для глубинных вибросейсмических исследований на востоке России

ГСЗ в труднодоступных регионах Сибири [3, 6]: работа в ночные часы, когда стихает фон помех, установка приборов в лесу в глубокие ямы (до 1,5–2 м), на болоте – на мощные колья, вбитые до плотных грунтов, в горах – на массивные скальные породы. Положительный эффект дает как локальное группирование датчиков, так и использование больших «пауков». Однако в северных широтах большинство этих способов либо нетехнологично при массовых работах ГСЗ (например, их использование для 200 регистраторов: ведь «пауки» могут быть порваны дикими животными), либо неэффективно. Так, летом на Севере в ночные часы шум от движущегося транспорта не стихает, а наоборот, усиливается из-за движения большегрузов; кроме того, в летний период в тундре круглосуточно не стихает фон ветровых помех. Ямы, вырытые до мерзлоты (на глубинах около 0,5 м), заплывают водой, и очень плотно свитая тундровая растительность, раскачиваемая от ветра, создает мощный фон помех.

В этих условиях при отработке вибраторов положительный эффект давал комплексный подход, включающий отслеживание благоприятных внешних условий (минимального уровня сейсмического фона) на профиле, использование выносных точек и погружных зондов. Выбор оптимального времени для отработки пункта возбуждения по метеорологическим и техническим условиям

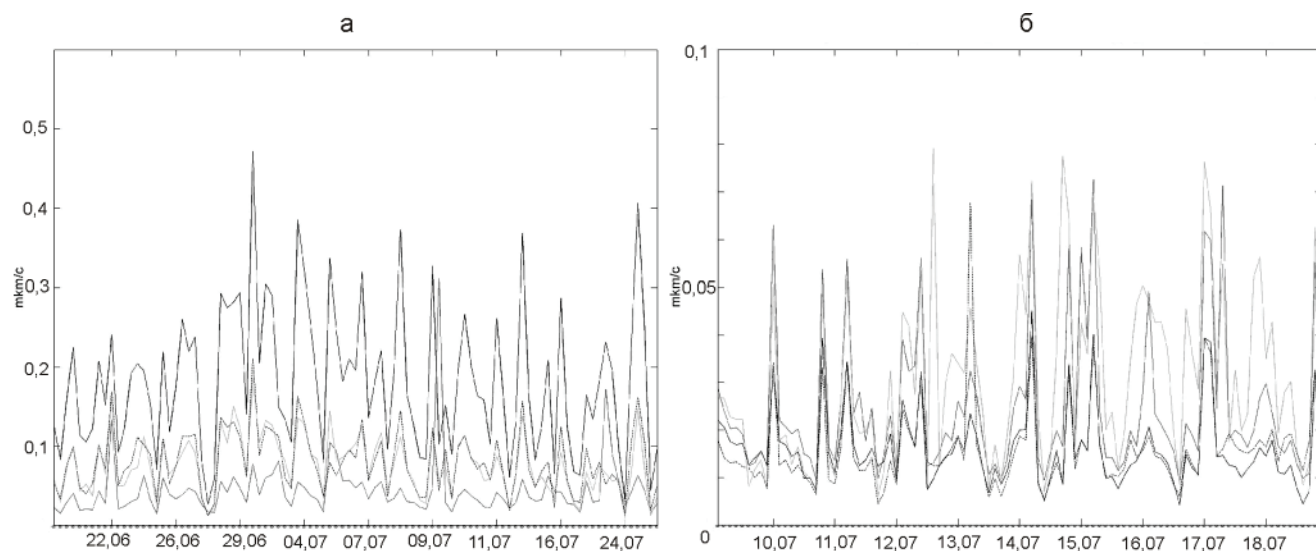


Рис. 2. Влияние уровня шумов на регистрацию вибросигналов на профиле 3-ДВ на Южном (а) и Центральном (б) участках

производится посредством постоянного отслеживания уровня помех по контрольным регистраторам на ряде точек наблюдения вблизи базы и подбаз (размещенных через 50–70 км по профилю), где находятся операторы. Во время работы осуществляется постоянная двухсторонняя радиосвязь между диспетчерским пунктом базы партии и всеми пунктами возбуждения (ПВ) с помощью радиостанций, спутниковых (на ряде участков профилей – мобильных) телефонов. Автономность регистраторов позволяет соблюдать дежурный режим на профиле в течение нескольких суток и подбирать наиболее подходящие условия. Экспериментальные исследования по анализу допустимых шумов при приеме вибрационных сигналов на удалениях 100–300 км показывают, что допустимы абсолютные амплитуды шумов на уровне 0,05–0,1 мкм/с, в то время как рядом с источником движущегося транспорта (грузовый КамАЗ) они выше на 4–5 порядков. И только на удалении 800–1000 м от подобного источника обстановка для приема становится приемлемой.

На рис. 2 приведен пример среднего уровня шумов на двух точках (115 и 423) профиля 3-ДВ на Южном (пос. Джалинда – пос. Верх-Амга) и Центральном (пос. Томмот – пос. Ниж. Бестях) участках за длительные периоды регистрации. Видно, что средний уровень шумов различается примерно в 6 раз, что обусловлено размещением точки регистрации на Южном участке недалеко от железной дороги и автомагистрали. Обработка экспериментальных материалов показала, что удовлетворительные записи продольных волн в данной точке (в том числе и преломленной волны от границы Мохо) на удалениях примерно 240 км были получены от вибратора на трех каналах лишь в отдельных сеансах, когда в момент регистрации уровень шумов был не более 0,05 мкм/с. Для точки Центрального участка (см. рис. 2, б) качественные вибросейсмические записи были получены по-

сле большего количества вибрационных сеансов и для больших удалений от вибратора.

В дальнейшем при работе вдоль федеральных трасс регистрирующие точки выносились в стороны на 1 км. В ряде опорных точек на профиле для уменьшения уровня помех регистрация осуществляется зондами (вертикальной группой из шести сейсмоприемников СВ-5), расположенными в скважинах глубиной до 2,5–4 м. Скважины бурятся в мерзлом и галечниковом грунте специальными переносными бурами.

Эксперимент по приему вибросигналов на наземные и донные станции, который выполнялся в 2008 г. на профиле р. Паляваам – мыс Биллингса – о. Врангеля в Охотско-Чукотском регионе (рис. 3), дал неожиданные результаты. В наземной части профиля на удалениях примерно до 160 км от вибратора были получены коррелограммы с невысоким отношением сигнал/шум в области первых вступлений (см. рис. 3, а), что обусловлено высоким фоном ветровых помех вблизи океана. В морской части профиля (удаления 160–345 км) регистрация осуществлялась на донных станциях с трехкомпонентными геофонами и гидрофоном. Как видно на рис. 3, б–г, первые вступления продольных волн практически не просматриваются на X-, Y- и Z-компонентах. В то же время хорошие коррелограммы с высоким отношением сигнал/шум в области первых вступлений на удалениях 160–300 км удается получить при регистрации на гидрофонах (см. рис. 3, д).

Это позволяет использовать мощные вибраторы и донные станции (оснащенные гидрофонами) для глубинных сейсмических исследований транзитных зон. Планируется также сравнение материалов от наземных геофонов и гидрофонов, погруженных в неглубокие водоемы (озера, затопленные карьеры и др.). Вполне вероятно, что и в данных условиях на гидрофонах будет получен более качественный материал.

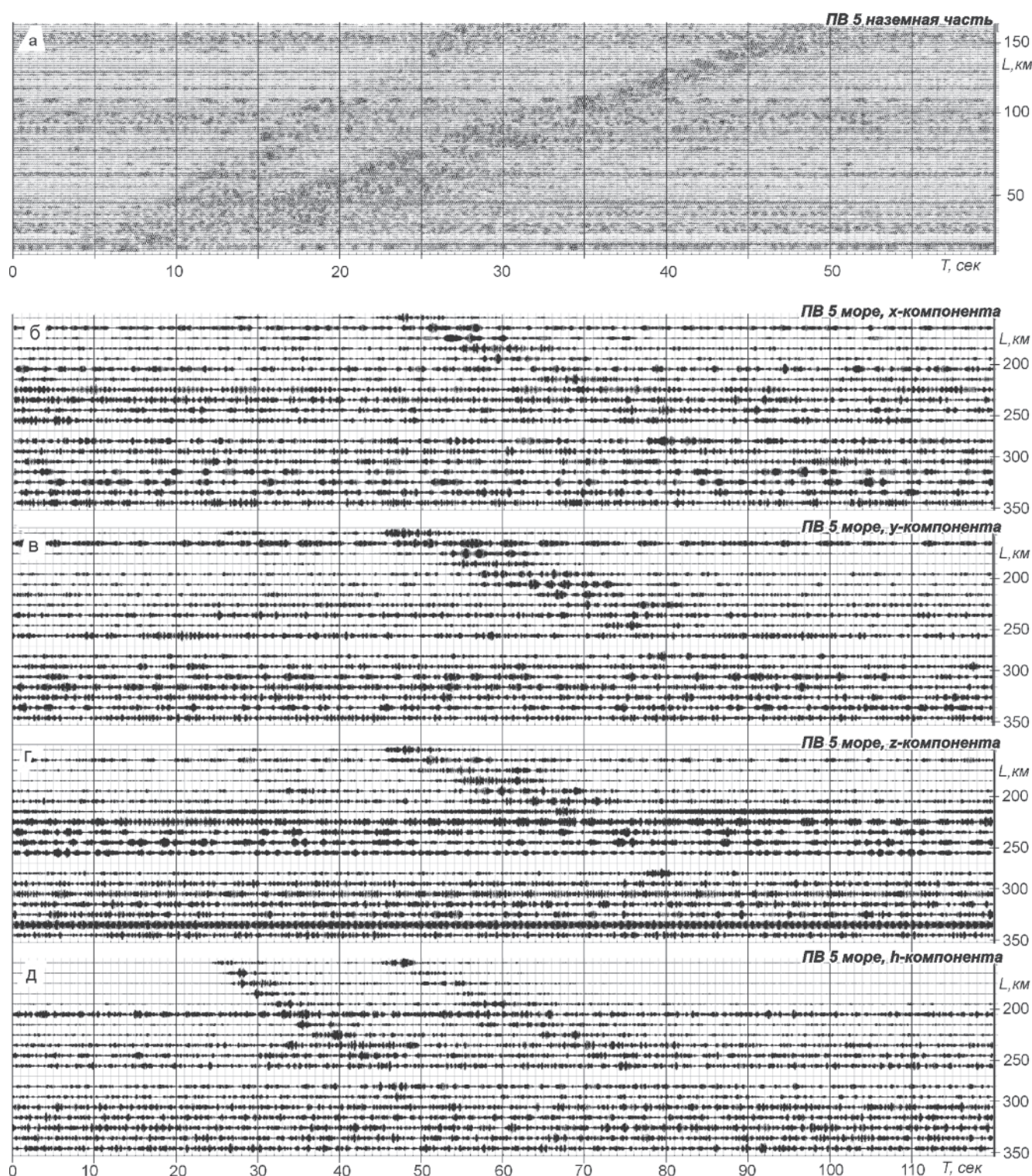


Рис. 3. Примеры коррелограмм от 40-тонного вибратора, полученных на профиле ГСЗ (р. Паляваам – мыс Биллингс – о. Врангеля): а – коррелограммы с наземной части профиля на удалениях 15–157 км, б–г – данные с геофонов (каналы X, Y и Z соответственно) донных станций на удалениях 160–345 км, д – коррелограммы с гидрофонов (h-компонента) донных станций на удалениях 160–345 км

В области излучения. Если условия приема одинаково влияют на качество вибрационных и взрывных записей, то оптимальные условия излучения для взрывных источников и вибраторов существенно разнятся. Многочисленные эксперименты, выполненные на профилях 2-ДВ, 2-ДВ-А и 3-ДВ, показывают, что на «мягких» (низкоскоростных) грунтах спектры от вибраторов в ближ-

ней зоне широкополосные (и практически соответствуют полосе излучения), а для взрывов, наоборот, узкополосные и сдвинуты в область низких частот. На «жестких» (высокоскоростных) грунтах спектр излучения от взрывов достаточно широкий, а от вибраторов очень узкий и сдвинут в область высоких частот. Поэтому одна из главных задач при вибрационном возбуждении – подбор

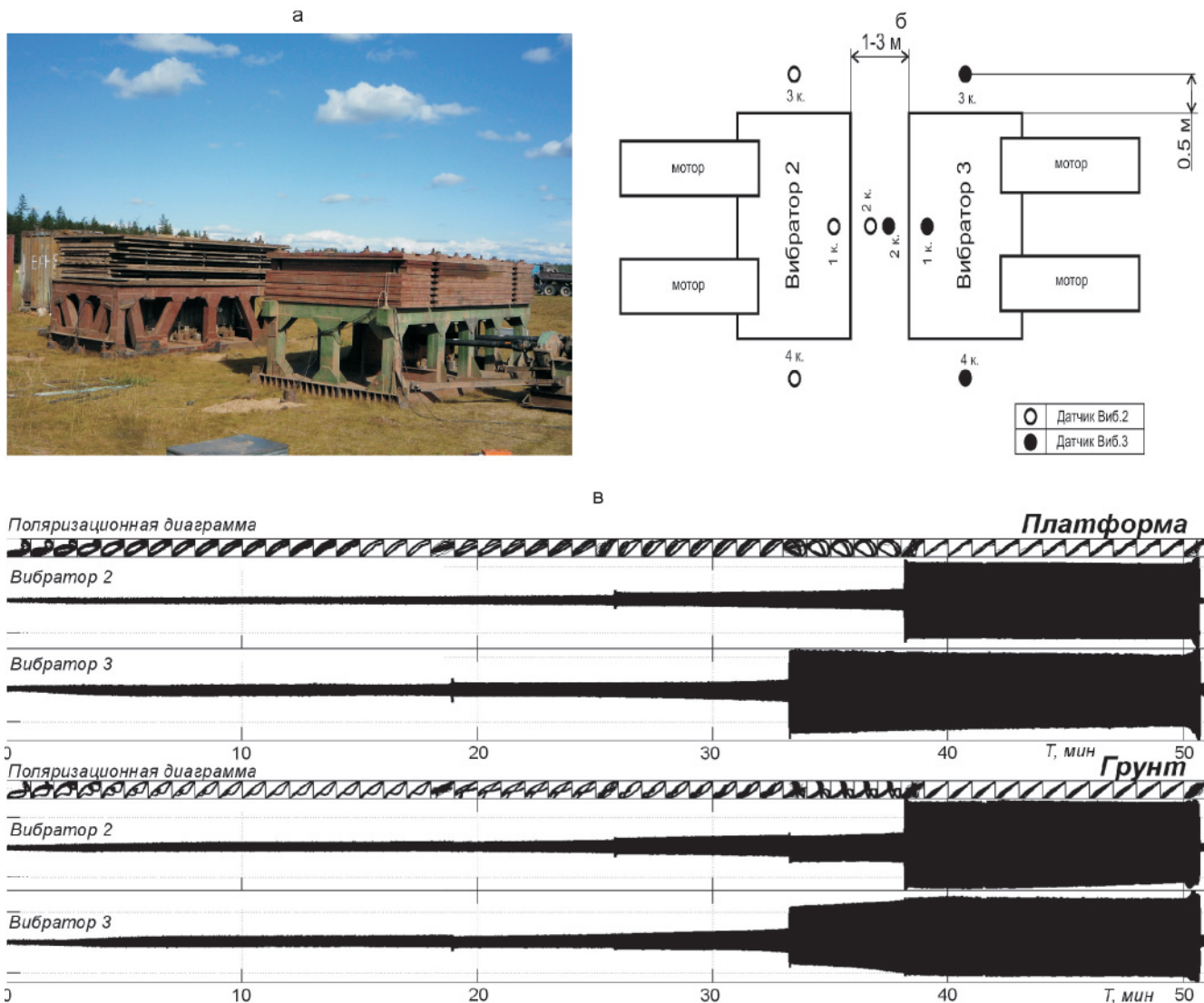


Рис. 4. Группа вибраторов и регистрирующих датчиков (а) и схема размещения датчиков в ближней зоне (б) (1к – на платформе, 2к–4к – у разных сторон вибраторов на глубинах около 1,5 м), виброграммы и поляризационные диаграммы колебаний платформы и грунта (вторые каналы на рис. 4, б) при работе двух вибраторов (в)

площадок с низкоскоростной (250–350 м/с) верхней частью разреза мощностью несколько метров. Для этого в местах постановки вибраторов выполняются инженерно-геофизические исследования характеристик грунтов. Для получения высококачественных записей и уменьшения влияния шумов на коррелограммах производится суммирование сеансов вибратора. Использование повторных сеансов работы виброисточника, количество которых, как правило, изменяется от 5 до 11, и обратного свипа расширяет излучаемый сигнал в область низких частот, что весьма важно для повышения разрешенности коррелограмм.

С целью увеличения интенсивности излучения при полевых исследованиях в 2009–2010 гг. на профиле 3-ДВ были начаты эксперименты по группированию мощных вибраторов. В нескольких точках источники располагались рядом (расстояние между ними от 1 до 3 м) (рис. 4, а, б).

Схема обработки включала последовательную работу одного вибратора, потом другого и затем работу группы вибраторов одно-

временно. Сеансы излучения проводились по 45 мин. Диапазоны составляли 6,25–9,57, 7,91–11,5 и 8,49–11,03 Гц для средних дебалансов (46,2 кг·м) и 7,42–10,0 Гц для тяжелых (56,8 кг·м). Анализ текущих спектров в ближней зоне вибраторов свидетельствует о разных характеристиках излучения двух вибраторов, что связано как с несколько различной их конструкцией (см. рис. 4, а), так и с неоднородным строением среды на общей площадке размещения источников. При совместном излучении в начальный период вибраторы работают несинхронно, что хорошо видно на поляризационных диаграммах датчиков с платформ вибраторов (см. рис. 4, б, в). При достижении участка резонанса обоими вибраторами их излучающие платформы начинают работать синхронно (участок от 38 до 50 мин на рис. 4, в); то же и для колебаний грунта в районе вибраторов. При этом амплитуда излучения увеличивается в 1,2–2 раза по сравнению с работой единичных вибраторов, что позволяет в большинстве точек регистрации получать коррелограммы с более высоким,



чем от единичных вибраторов, соотношением сигнал/шум.

Способы цифровой обработки для улучшения качества материалов от мощных вибраторов

Главные особенности вибрационных сигналов при глубинных сейсмических исследованиях заключаются в следующем [4, 16, 17]:

- 1) большая длительность виброграмм (от десятков минут до 1–1,5 ч);
- 2) сравнительно малая длительность полезного участка коррелограммы (десятки секунд);
- 3) низкочастотный диапазон колебаний (от единиц до 15–20 Гц).

Вследствие больших расстояний между источником и приемником требуются длинные сеансы работы вибратора (до 1 ч), обеспечивающие возможность выделения слабых сигналов на фоне значительных помех. В течение этого времени могут возникать кратковременные дополнительные помехи (движение наземного транспорта, самолетов, изменение погодных условий и т. п.). Даже при нескольких сеансах вибратора мы имеем серию коррелограмм, по-разному «испорченных» нестационарными шумами. Кроме того, опорные комплексные профили в труднодоступной местности проводятся, как правило, вдоль единственных автомагистралей, что требует решения задачи накопления длительных вибрационных сигналов на фоне нестационарных шумов от движущегося транспорта [4].

Для борьбы с нестационарными шумами во взрывной сейсморазведке часто проводится суммирование по множеству реализаций сигнала. Тот же прием используется и при работе с виброграммами. Но поскольку виброграмма представляет собой разнесенный по частотам сигнал, есть возможность для анализа данных и нейтрализации нестационарных и других шумов на интересующей нас частоте применительно к конкретному временному отрезку сигнала. При наличии сильных помех на каком-либо временном интервале предлагается или попросту исключить данные частоты из виброграммы, а для того чтобы не потерять полезный сигнал, использовать эту часть из другого сеанса, или провести суммирование по кусочкам с оценкой шума на данном интервале. Для ускорения процесса расчет коррелограммы осуществляется в частотной области с применением прямого и обратного преобразования Фурье [16, 17]:

$$r(n) = \sum_{\omega_n} S(\omega) B(\omega) e^{j\omega n T},$$

где n – время; T – период; $r(n)$ – коррелограмма; $S(\omega)$, $B(\omega)$ – преобразование Фурье виброграммы и опорного сигнала.

При использовании сегментов для расчета коррелограммы в частотной области возникает проблема растекания спектра. Для уменьшения

такового при дискретном преобразовании Фурье (ДПФ) применяются весовые функции, также называемые окнами. В этом случае перед расчетом ДПФ сигнал умножается на весовую функцию $w(k)$, которая должна спадать к краям сегмента.

Если мы используем весовую функцию с максимумом в середине (при $k = N/2$), плавно спадающую к краям ($k = 0$ и $k = N - 1$), это приведет к ослаблению эффектов, связанных с возникновением скачков сигнала при периодическом повторении анализируемой конечной последовательности и, таким образом, к уменьшению растекания спектра.

Аналогичный вывод можно сделать относительно влияния весовой функции в частотной области. Умножение сигнала на весовую функцию соответствует свертке спектров сигнала и весовой функции, что приводит к некоторому расширению пиков. Однако при этом становится возможным уменьшение уровня боковых лепестков спектральной функции, что и является целью.

При расчете спектра по сегментам виброграммы использован метод Уэлча (Welch), который представляет собой модифицированный за счет применения окна данных и использования перекрывающихся сегментов метод сегментирования и усреднения Бартлетта. Цель окна – за счет незначительного ухудшения разрешения ослабить эффекты от боковых лепестков и уменьшить смещение оценок; перекрытие сегментов нужно, чтобы увеличить число усредняемых сегментов при заданной длине записи данных и тем самым уменьшить дисперсию оценки СПМ [5].

Разобьем запись данных $x[n]$ на P сегментов по D счетов в каждом со сдвигом S отсчетов между соседними сегментами ($S \leq D$). Максимальное число сегментов P есть целая часть величины $\frac{N-D}{S} + 1$. После взвешивания окном $w[n]$ сегмент с номером p ($1 \leq p \leq P$) будет содержать отсчеты

$$x^{(p)}[n] = w[n] x[n + pS], \quad 1 \leq n \leq D.$$

Выборочный спектр p -го сегмента определяется выражением

$$X^{(p)}(f) = \frac{1}{D} \sum_{n=1}^D x^{(p)}[n] e^{-j2\pi f n T}.$$

Для опорного сигнала $y(n)$ рассчитывается $Y(f)$, затем средствами обратного преобразования Фурье осуществляется переход во временную область (p) и находится коррелограмма по формуле

$$r^{(p)}[n] = \sum_f X^{(p)}(f) Y(f) e^{j2\pi f n T}.$$

Уэлч, в частности, предложил применять окно Ханна и 50 %-ное перекрытие сегментов. Это обеспечивало очень эффективные реализации его метода на основе алгоритма быстрого преобразования Фурье [5]. Кроме того, при 50 %-ном перекрытии сегментов все данные используются

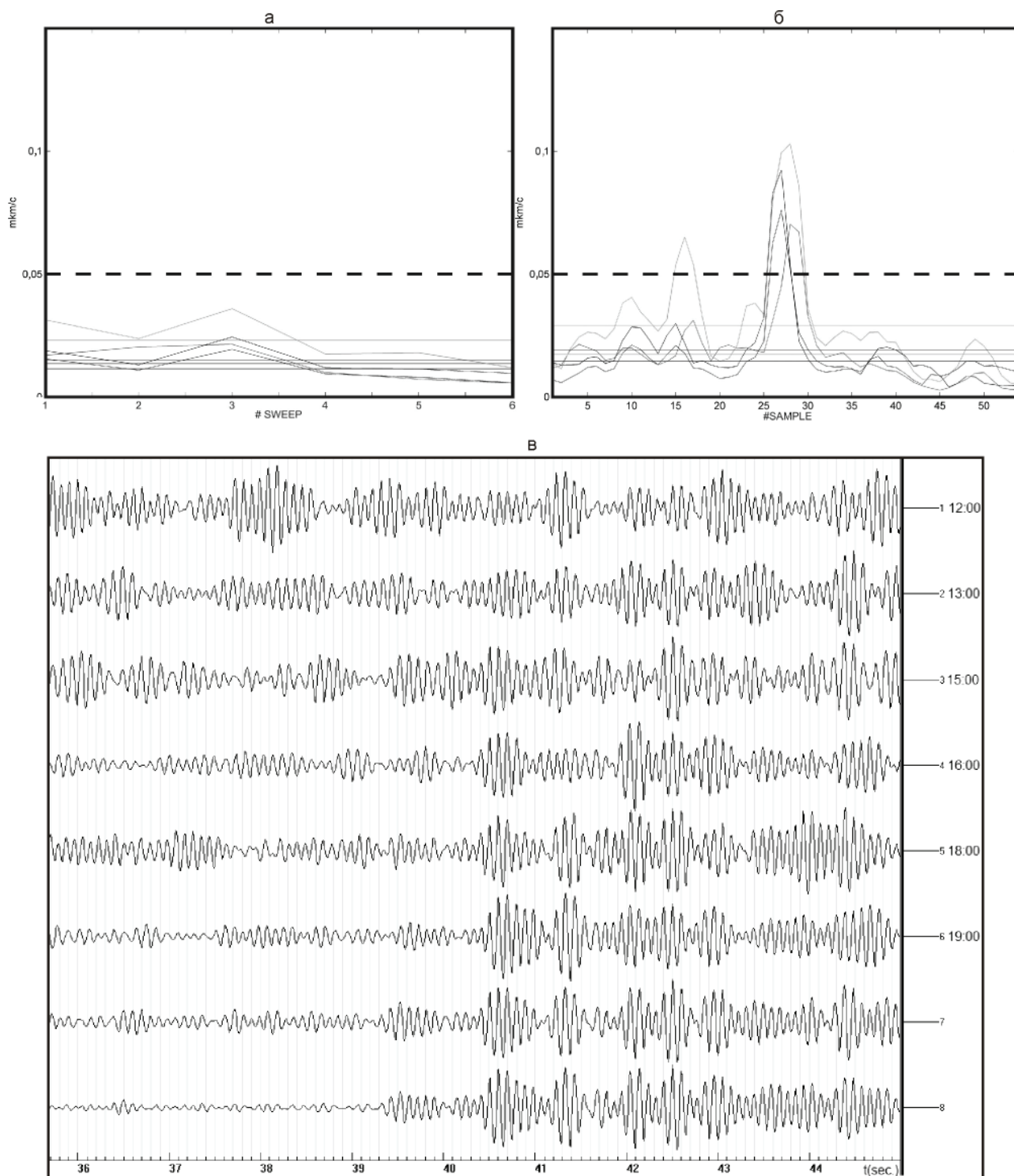


Рис. 5. Алгоритм по улучшению полевых вибрационных записей на основе анализа шумов и расчета коррелограмм по небольшим фрагментам: расчет шума по всей длине записи (~1 ч) для 4 трасс, шесть сеансов (а), расчет шума по кусочкам для 4 трасс сеанса № 3 (15:00 по Гринвичу) (б), примеры коррелограмм (в): 1–6 – для 2-й трассы шесть сеансов виброисточника, 7 – коррелограмма, полученная суммированием 6 сеансов, 8 – коррелограмма, полученная по частям с минимальным фоном из разных сеансов 2-й трассы

дважды, за исключением $D/2$ отсчетов на каждом конце исходной N -точечной последовательности данных, а это выравнивает обработку большинства отсчетов данных, поскольку те из них, которые имели малые веса на одном сегменте, получают большие на следующем [5].

Опробование описанного выше подхода к расчету сегментированных коррелограмм осу-

ществлялось на экспериментальных полевых материалах, полученных на профиле ГСЗ 3-ДВ пос. Томмот – пос. Ниж. Бестях – Теплый Ключ в 2010 г. В качестве уровня нестационарного шума, при котором нет возможности получить более-менее удовлетворительные данные на удалениях свыше 100 км, был принят уровень в 0,05 мкм/с. Рис. 5 иллюстрирует преимущество

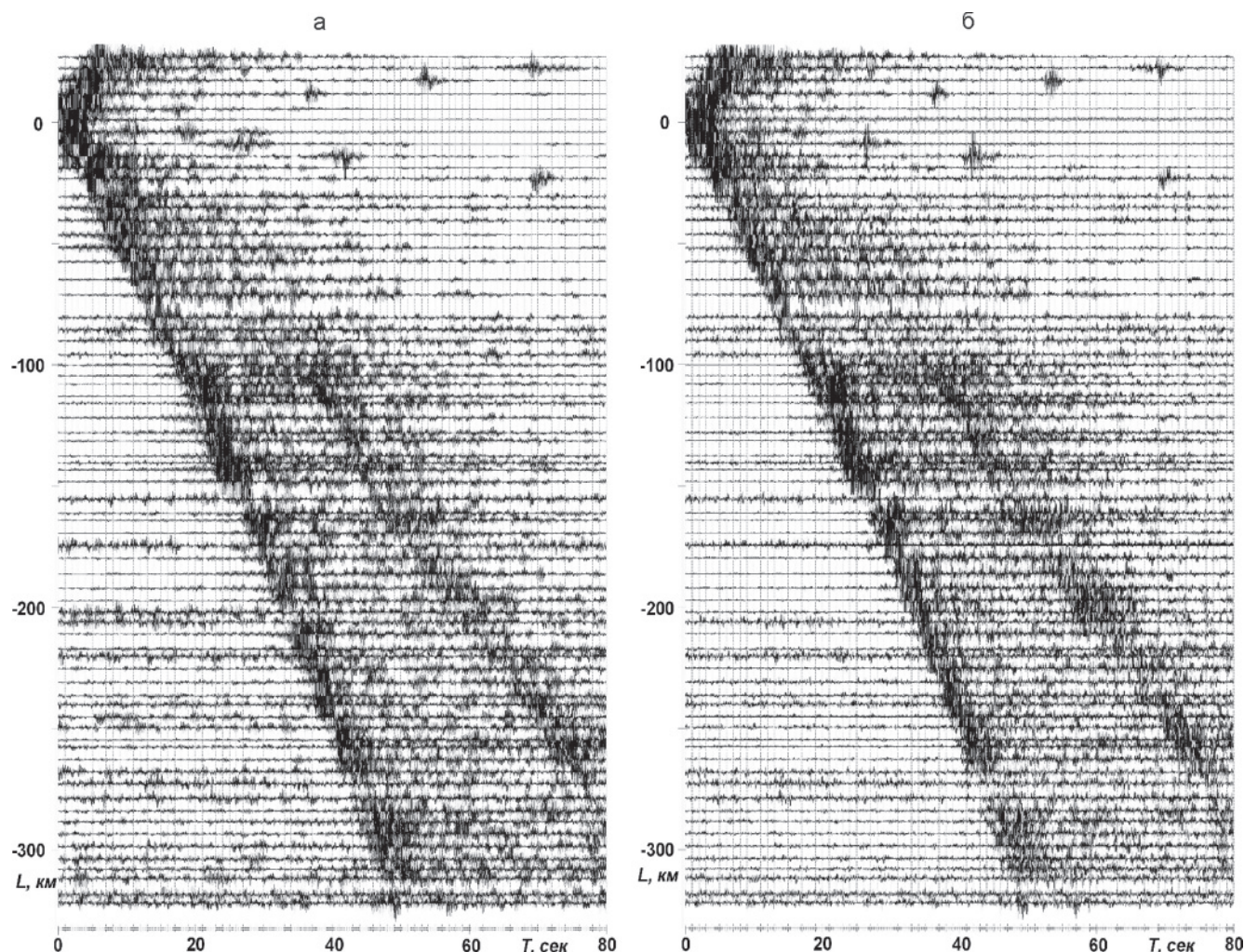


Рис. 6. Пример улучшения качества коррелограмм с ПВ 16 (профиль 3-ДВ, 2010 г., участок пос. Томмот – пос. Ниж. Бестях) при обычном суммировании повторных сеансов вибратора (а) и суммировании по частям фрагментов виброграмм из разных сеансов с минимальным фоном (б)

суммирования коррелограмм, полученных по частям виброграмм с указанным порогом нестационарного шума по сравнению с обычным суммированием коррелограмм от разных сеансов, при котором оценивается шум часовой записи (в зависимости от среднего уровня шума всей записи сеанс участвует в суммировании или нет). На рис. 5, а представлен анализ такого уровня шума для точки 407 профиля 3-ДВ (участок пос. Томмот – пос. Ниж. Бестях) пункта вибрационного возбуждения 15, на котором было отработано шесть сеансов на средних дебалансах (8,5–11,5 Гц). При выставлении порога прохождения 0,05 мкм/с в суммировании участвуют все сеансы. Если рассмотреть подробнее, например, сеанс № 3 (15:00 по Гринвичу), разбив его на сегменты по 120 с с перекрытием 50 %, получим распределение уровня шума в течение всей записи (см. рис. 5, б). Средние значения шума для некоторых сегментов превышают значения заданного порога шума и, следовательно, не участвуют в суммировании по частям, что, в свою очередь, положительно отражается на общей коррелограмме (см. рис. 5, в). Особенно отчетли-

во это видно в области первых вступлений, где отношение сигнал/шум увеличилось в 3–4 раза (8-я трасса, см. рис. 5, в).

В качестве примера массовой обработки на рис. 6 приведены коррелограммы с ПВ16 профиля пос. Томмот – пос. Ниж. Бестях для удалений 0–330 км, полученные двумя способами: обычным суммированием и суммированием с вычислением сегментированных коррелограмм. Видно, что соотношение сигнал/шум на записях, полученных по сегментам виброграмм, существенно выше по сравнению с обыкновенным суммированием. Особенно это важно на больших удалениях (250–300 км), где в первых вступлениях регистрируется слабая преломленная волна от поверхности Мохо.

Использование описанных приемов по повышению качества полевых вибрационных материалов и специальных процедур камеральной цифровой обработки виброграмм позволило в последние годы существенно повысить качество вибрационных данных, приблизив их к качеству данных ГСЗ с мощными химическими взрывами (5–6 т тротила) (рис. 7).

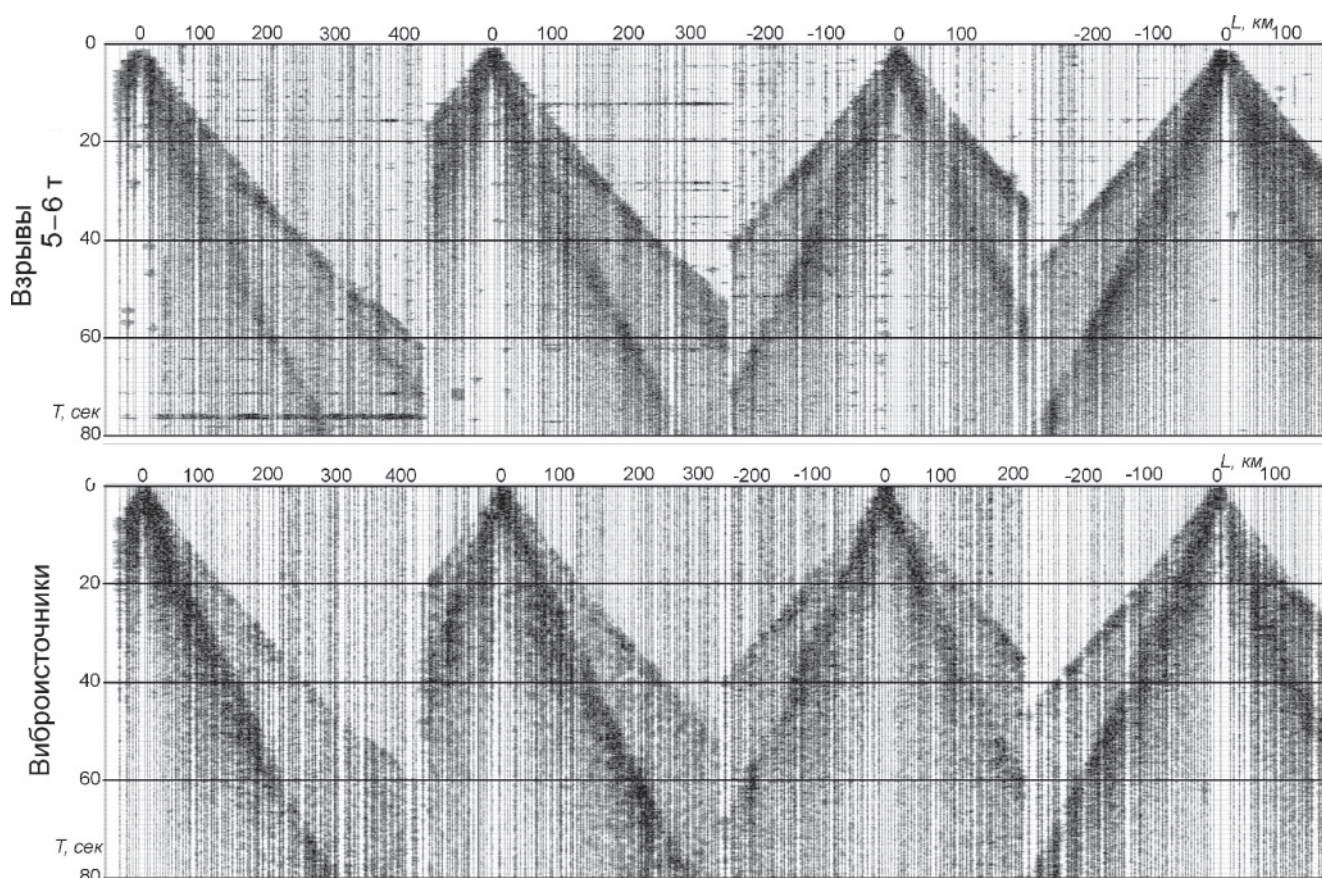


Рис. 7. Данные от взрывов и вибраторов, полученные на Центральном участке профиля 3-ДВ в 2010 г.

Выводы

В последние годы мировая и российская практика сейсмических исследований показывает, что изучение глубинного строения перспективных в минерагеническом плане территорий осуществляется все чаще при использовании невзрывных источников возбуждения. Связано это как с повышенными экологическими требованиями, так и невозможностью организации взрывов в районах с развитой промышленной и гражданской инфраструктурой. Разрабатываемая в Роснедра и СО РАН в последнее десятилетие технология ГСЗ с комплексным использованием мощных передвижных вибраторов и химических взрывов на опорных профилях уже показала свою состоятельность и перспективность: в труднодоступных условиях Северо-Востока России: отработаны тысячи погонных километров сейсмических профилей, что позволило получить новые данные о глубинном строении не изученных ранее территорий. Опыт работ ГСЗ на опорных профилях показывает также, что одна из главных задач глубинных сейсмических исследований – повышение качества экспериментальных материалов при больших нестационарных шумах, связанных с выполнением профилей вдоль шумных автомагистралей, при интенсивных ветровых помехах в непосредственной близости от океанов и др. В плане повышения качества вибрационных материалов уже достигнуты значительные результаты.

Дальнейшие перспективы улучшения качества вибрационных данных авторы связывают прежде всего с реализацией описанных выше технологических приемов и получением хорошего материала при полевых работах: подбор оптимальных площадок с низкоскоростной верхней частью разреза для установки групп вибраторов можно осуществить в поймах рек и межгорных долинах, а для транспортировки вибраторов использовать высокопроходимую тяжелую транспортную технику типа «Витязь». Необходимо широко применять погружные зонды и выносные точки регистрации, проводить регистрацию как на геофонах, так и гидрофонах. Вполне реально в ближайшем будущем проводить работы с группированием трех вибраторов ЦВ-40, что может существенно увеличить интенсивность излучения.

Авторы выражают благодарность всем коллегам из ГС СО РАН и СНИИГГиМСа, участвовавшим в получении экспериментальных материалов ГСЗ на опорных профилях на востоке России и в обработке данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Активная** сейсмология с мощными вибрационными источниками [Текст] / А. С. Алексеев, Б. М. Глинский, Н. И. Геза [и др.]. – Новосибирск : Изд-во СО РАН «Гео», 2004. – 350 с.
2. **Глубинное** строение Юго-Западной части Охотско-Чукотского региона по результатам ви-



бросейсмических исследований с мощными передвижными вибраторами [Текст] / В. М. Соловьев, В. С. Селезнев, А. Ф. Еманов [и др.] // Проблемы сейсмологии III тысячелетия : Матер. междунар. геофиз. конф. – Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2003. – С. 374–382.

3. **Детальные** сейсмические исследования литосферы на Р- и S-волнах [Текст] / С. В. Крылов, Б. П. Мишенькин, З. Р. Мишенькина [и др.] – Новосибирск : Наука, 1993. – 199 с.

4. **Еманов, А. Ф.** Цифровая обработка вибрационных сигналов при глубинных сейсмических исследованиях [Текст] / А. Ф. Еманов, О. В. Капцов // Геология и геофизика. – 1992. – № 4 – С. 70–72.

5. **Марпл, С. Л. (мл.)** Цифровой спектральный анализ и его приложения [Текст] / С. Л. Марпл (мл.) – М. : Мир, 1990. – 584 с.

6. **Методика** и аппаратура для региональных сейсмических исследований в труднодоступной местности и их применение в Сибири [Текст] / Н. Н. Пузырев, Г. Д. Бабаян, А. И. Бочанов [и др.] – Новосибирск : Наука, 1978. – 206 с.

7. **Методы** решения прямых и обратных задач сейсмологии, электромагнетизма и экспериментальные исследования в проблемах изучения геодинамических процессов в коре и верхней мантии Земли [Текст] / А. С. Алексеев, Б. М. Глинский, В. В. Ковалевский [и др.] – Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2010. – 310 с.

8. **Недра** Байкала (по сейсмическим данным) [Текст] / Под ред. Н. Н. Пузырева. – Новосибирск : Наука, 1981. – 105 с.

9. **Новая** технология глубинных сейсмических исследований с использованием мощных передвижных виброисточников [Текст] / В. С. Сурков, А. В. Липилин, А. С. Сальников [и др.] // Докл. Междунар. геофиз. конф. и выставки «Геофизика XXI века – прорыв в будущее». – М., 2003.

10. **Рациональный** комплекс сейсмических исследований на опорном геофизическом профиле 2-ДВ (Северо-Восток России) [Текст] / В. С. Сур-

ков, А. В. Липилин, Л. Л. Фельдман [и др.] // Сейсмические исследования земной коры : Сб. докл. междунар. науч. конф., посвящ. 90-летию акад. Н. Н. Пузырева. – Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2004. – С. 269–274.

11. **Создание** государственной сети опорных геофизических профилей, параметрических и сверхглубоких скважин [Текст] / А. В. Липилин, О. С. Аккуратов, М. Б. Келлер, Ю. К. Щукин // Региональная геология и металлогения. – 2000. – № 10. – С. 7–12.

12. **Строение** земной коры в сечении опорного профиля 2-ДВ по данным ГСЗ [Текст] / В. Л. Кузнецов, А. С. Сальников, В. С. Старосельцев, В. С. Сурков [и др.] // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2010. – № 2. – С. 21–30.

13. **Строение** земной коры Магаданского сектора Северо-Востока России по данным ГСЗ [Текст] / В. С. Сурков, А. С. Сальников, В. Л. Кузнецов [и др.] // Структура и строение земной коры Магаданского сектора России по геолого-геофизическим данным. – Новосибирск : Наука, 2007. – С. 13–21.

14. **Структура** и строение земной коры Магаданского сектора России по геолого-геофизическим данным [Текст] / Отв. ред. А. С. Сальников. – Новосибирск : Наука, 2007. – 172 с.

15. **Суворов, В. Д.** Глубинные сейсмические исследования в Якутской кимберлитовой провинции [Текст] / В. Д. Суворов. – Новосибирск : Наука, 1993. – 136 с.

16. **Чичинин, И. С.** Вопросы теории сейсмического виброндирования [Текст] / И. С. Чичинин // Методика сейсморазведки. – М. : Наука, 1965. – С. 147–163.

17. **Чичинин, И. С.** Преобразование сигналов в вибрационной сейсморазведке [Текст] / И. С. Чичинин, В. И. Юшин // Измерительная аппаратура для разведочной геофизики. – Новосибирск, 1973. – С. 3–20.

© В. М. Соловьев, И. Е. Романенко,
С. А. Елагин, В. Н. Кашун, 2012