

Адаптивные технологии вибрационной сейсморазведки. Часть I

■ Жуков А.П., Коротков И.П., Тищенко А.И., ООО «Геофизические Системы Данных, г. Москва

За годы, прошедшие со дня первого практического применения технологии АВИСейс® [1], адаптивная сейсморазведка продолжала активно развиваться, что явилось причиной появления данной статьи. Надеемся, что данная публикация поможет геофизикам-практикам глубже понять основные принципы предлагаемых технологий, возможности их использования в тех или иных сейсмогеологических условиях и поставленных задачах.

На наш взгляд возможности улучшения технических характеристик электрогидравлических виброисточников в настоящее время почти исчерпаны и дальнейший прогресс вибрационной сейсморазведки перемещается в сторону использования широкополосных управляемых сигналов, реализуемых современными системами управления виброисточниками [3, 4].

В данной статье более подробно описана так называемая базовая технология адаптивной вибросейсморазведки (АВИСейс®), технология возбуждения низкочастотного свипа (НЧ-свип, в зарубежной литературе – Low-dwell sweep), технология возбуждения широкополосного вибросигнала (Broad sweep®).

1. Аппаратурно-программные средства реализации адаптивных технологий.

1.1. Система управления виброисточниками - GDS-II (Geophysical Digital System)

Предыдущие системы управления виброисточниками GDS-I, GDS-I+ были сняты с производства, поэтому ниже дается описание последней действующей модели – GDS-II.

Это - многофункциональная геофизическая цифровая система управления сейсмическими вибраторами, оснащенная радиосвязью и встроенными GPS/GLONASS приемниками, кроме обычных функций управления БУСВ (блока управления сейсмическим вибратором) в модернизированном варианте и на современной элементной базе, еще осуществляющая и работу по методикам адаптивной вибрационной сейсморазведки (рис. 1). Система управления состоит из универсальных устройств, каждое из которых способно работать в двух режимах: *Encoder*- связь между сейсмостанцией и вибраторами по радио; *Decoder*- управление вибраторами.



▲ Рис. 1. Блок управления сейсмическими вибраторами GDS-II, позволяющий проводить работы по методикам адаптивной вибрационной сейсморазведки.

В системе GDS-II реализованы все стандартные возможности работы с линейным (ЛЧМ) и нелинейными сигналами. Кроме этого реализовано:

- вычисление параметров адаптивных сигналов;
- вычисление параметров функционального нелинейного свип-сигнала по спектру адаптивного сигнала;
- вычисление и запись в память GF (T) – (GroundForce – «действующая сила») для использования при обработке виброграмм и районирования площади по условиям возбуждения;

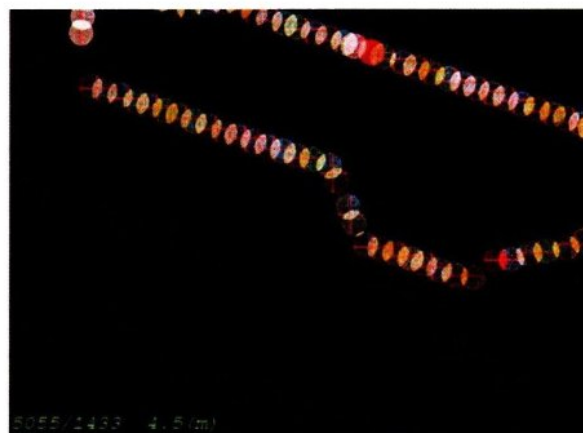
- режим минимизации уровня нелинейных искажений при возбуждении упругих колебаний на низких частотах;
- обеспечивается контроль качества в реальном времени (PSS, фаза, нелинейные искажения, величина усилия и т.д.);
- реализация произвольного свип-сигнала, задаваемого пользователем.

Блоки управления GDS-II, помимо связи с сейсмостанцией, оснащены системами спутниковой привязки и позволяют контролировать как реальное положение вибратора на местности в сравнении с плановым расположением ПВ, так и качество обработки ПВ по ряду параметров, с фиксацией данных контроля обработки ПВ на карте контроля. Ее пример показан на рис. 2.

Для каждого контролируемого параметра обработки площади задаются численные значения “пределов предупреждения” и “пределов ошибки”. Например, для фазовой ошибки обработки свипа задан предел предупреждения в 2° , а предел ошибки - в 3° . Группа вибраторов, где ошибки фазы при обработке данного ПВ менее 2° , будет отображена на карте кружком белого цвета, а группа, где хотя бы один вибратор обработал ПВ с отклонением 2° , но не больше 3° - желтым, а с отклонением 3° и более - красным.

Погрешность обработки может выражаться и в отклонении группы вибраторов от заданных координат на площади. Эта погрешность обозначается крестом белого, желтого или красного цвета в зависимости от того, как она соотносится с пределами предупреждения или ошибки, аналогично погрешностям обработки свипов на ПВ.

На рис. 2 флажками отмечены координаты ПВ, цифрами подписаны названия ПВ. Кружками отмечены координаты, на которых источники выполняли возбуж-



▲ Рис. 2. Фрагмент карты инструментального контроля обработки площади вибраторами с блоками управления GDS-II.

дение. В зависимости от качества обработки ПВ кружки имеют разные цвета:

белый - все параметры источника во время обработки ПВ не превышали уровень предупреждения;

желтый - хотя бы один из параметров источника превысил уровень предупреждения, но был ниже уровня ошибки;

красный - хотя бы один из параметров источника превысил уровень ошибки.

Крестами на карте отображены координаты центров групп вибраторов. Для этих координат задаются значения предупреждения и ошибки отклонения от ПВ. Цвет креста белый, если его отклонение от ближайшего пикета меньше значения предупреждения, если отклонение больше предупреждения, но меньше ошибки - желтый, если больше значения ошибки - красный.

1.2. Программное обеспечение Vibro Equalizer

Функциональное назначение и возможности программы. Основное назначение VibroEqualizer - обеспечение технической возможности выполнения сейсморазведочных работ по технологии Адаптивной Вибрационной Сейсморазведки (АВИСейс). Программа выполняет

расчет амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) возбуждаемого вибрационного сейсмического сигнала на основе зарегистрированного отклика сейсмогеологической среды, а также обеспечивает передачу рассчитанной АЧХ в блок управления сейсмическим вибратором (БУСВ) GDS-II, для дальнейшего возбуждения сигнала [2].

Программа Vibro Equalizer включает в себя средства визуализации регистрируемых сейсмограмм и ряда важных характеристик, позволяя тем самым полностью контролировать происходящие процессы непосредственно во время выполнения работ по технологии АВИСейс®.

Разработанное программное обеспечение адаптировано для работы с различными аппаратными комплексами регистрации сейсмических данных. В частности, в рамках выполненных опытно-методических и производственных работ программа успешно функционировала в комплексе с сейсмостанциями Sercel 408/428/508 (Франция) и Прогресс-T2/T3 (ОАО «СКБ СП», Россия, г. Саратов).

Программа Vibro Equalizer обеспечивает:

- расчет амплитудно-частотной характеристики адаптивного сейсмического сигнала по данному алгоритму и его передачу в блок управления вибрационными сейсмическими источниками;
- визуализацию линейной и адаптивной сейсмограммы, а также их наглядное сопоставление;
- визуальное сопоставление АЧХ генерируемых свип-сигналов;
- сопоставление амплитудно-частотных характеристик зарегистрированных сейсмограмм.

Описание рабочего цикла программы.

Рабочий цикл Vibro Equalizer представляет собой выполнение следующих этапов регистрации и обработки данных.

- *Регистрация отклика сейсмогеологической среды:* программа выполняет чтение сейсмограммы, полученной при возбуждении ЛЧМ-сигнала. Данная сейсмограмма является настроенной. Подразумевается, что данная запись характеризует фильтрационные свойства сейсмогеологической среды и особенно верхней части разреза, на компенсацию влияния которых и ориентирована в первую очередь технология АВИСейс.

- *Расчет амплитудно-частотной характеристики среды:* на основе зарегистрированной сейсмограммы выполняется расчет амплитудного спектра записи в окне, выбранном специалистом-геофизиком. Рассчитанный амплитудный спектр можно считать частотной характеристикой геологической среды, на основе которой следует рассчитывать компенсирующий фильтр.

- *Расчет компенсирующего фильтра:* на основе рассчитанной характеристики сейсмогеологической среды Vibro Equalizer рассчитывает компенсирующую АЧХ по принципу обратного фильтра. Одной из задач технологии АВИСейс является обеспечение равномерного распределения энергии регистрируемого сигнала во всем диапазоне возбуждаемых частот, и решение данной задачи обеспечивается путем расчета необходимой амплитудно-частотной характеристики возбуждаемого сейсмического сигнала по заданному алгоритму.

- *Отправка рассчитанной характеристики сигнала в БУСВ GDS-II:* заключительный этап рабочего цикла программы – отправка рассчитанной АЧХ сигнала в блок GDS-II по локальной сети. В электронном блоке полученные спектральные коэффициенты преобразуются в свип-сигнал в виде амплитудно-временной развертки и отправляются далее в ведомые блоки для выполнения возбуждения сейсмического сигнала.

Интерфейс пользователя.

Интерфейс пользователя программы позволяет выполнить настройку всех необходимых для работы параметров, а также обеспечивает визуализацию регистрируемых и обрабатываемых данных.

Главное окно программы состоит из нескольких секций, каждая из которых отвечает за визуализацию данных определенного типа и другой информации (рис. 3).

Секции 1 и 2 главного окна программы обеспечивают визуализацию регистрируемых сейсмограмм (линейной и адаптивной) и их сопоставление. Сопоставление сейсмических записей позволяет визуально оценить изменение таких важных характеристик, как вертикальная разрешающая способность и динамическая выразительность отражений.

Секция 3 визуализирует амплитудно-частотные характеристики генерируемых свип-сигналов – линейного и адаптивного. Графическое сопоставление данных характеристик позволяет оценить степень изменения амплитудного

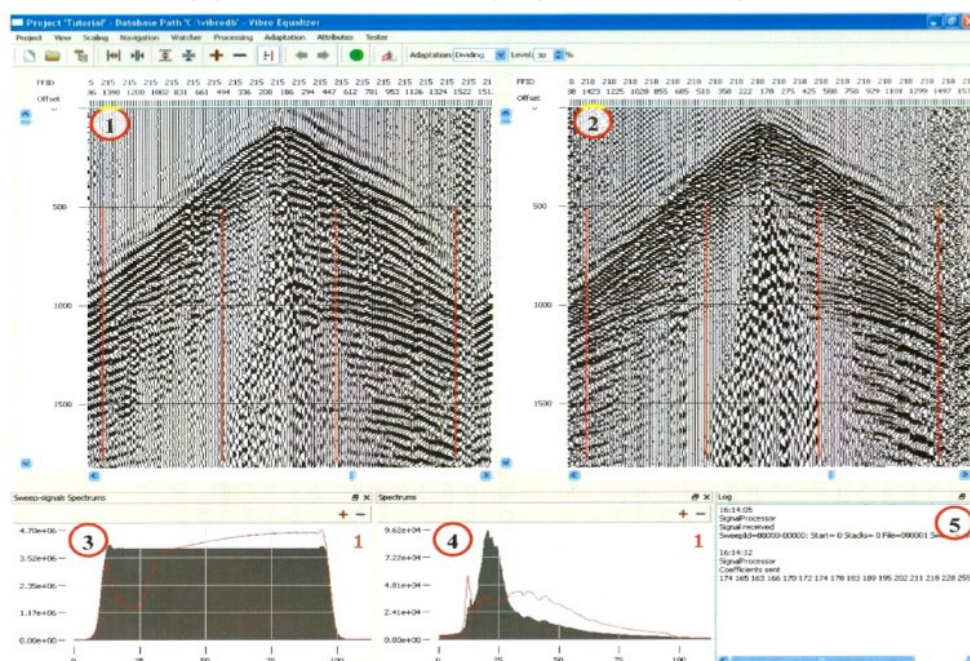
спектра адаптивного свип-сигнала и не допустить критического снижения энергии на каком-либо участке рабочего диапазона частот.

Секция 4 – сопоставление АЧХ зарегистрированных сейсмограмм до и после выполнения адаптации. Визуализация данных характеристик записей позволяет контролировать степень изменения амплитудного спектра сейсмограммы после применения адаптации, а именно – оценить равномерность распределения энергии регистрируемого сигнала в интервале возбуждаемых частот.

Секция 5 главного окна программы – так называемый журнал сообщений, отвечает за вывод важной служебной информации и позволяет пользователю контролировать процессы обмена данными между программой и БУСВ по локальной сети.

В целом, все перечисленные возможности интерфейса пользователя программы позволяют специалисту-геофизику оперативно принимать решения о выборе тех или иных параметров адаптации возбуждаемого сигнала, а также

▼ Рис. 3. Интерфейс пользователя программы Vibro Equalizer.



Секции главного окна программы:

1. Линейная сейсмограмма.
2. Адаптивная сейсмограмма.
3. АЧХ генерируемых свип-сигналов (линейного и адаптивного).
4. АЧХ зарегистрированных сейсмограмм (линейной и адаптивной).
5. Журнал сообщений программы.

выполнять предварительный анализ результатов адаптации непосредственно во время проведения опытно-методических и производственных работ.

Кроме того, программа содержит средства настройки стандартных параметров визуализации, таких как масштаб изображения, степень усиления амплитуды записи, опция обрезания амплитуд (Trimming) и т.п.

Исходные данные.

В качестве исходных данных Vibro Equalizer воспринимает сейсмические записи в формате SEG-D. Данный формат записи до сих пор является наиболее распространенным при выполнении регистрации полевых данных и поддерживается большинством распространенных моделей сейсмостанций.

Опциональное требование, предъявляемое программой к исходным данным – наличие геометрии в заголовках трасс записываемых сейсмограмм (координаты пунктов возбуждения и приема). Выполнение данного требования позволяет задавать и эффективно использовать пространственно-временные окна при выполнении адаптации сейсмического сигнала, существенно улучшая тем самым результативность работ по методике АВИСейс® в целом.

Некоторые современные модели сейсмостанций, в частности – Sercel 428, позволяют записывать проектную геометрию в сейсмические данные формата SEG-D непосредственно при выполнении регистрации. Традиционный стандарт SEG-D не предусматривает возможности хранения геометрии в заголовках трасс, и поэтому компания Sercel разработала собственную модификацию стандарта SEG-D, широко используемую в сейсмостанциях данного производителя. Данный факт также был учтен при разработке ПО

Vibro Equalizer, поэтому чтение формата SEG-D в спецификации Sercel полностью поддерживается программой, и проектная геометрия может быть использована при работе по технологии АВИСейс®.

Выбор пространственно-временных окон.

Пространственно-временные окна используются в программе для оптимальной настройки алгоритма адаптации на регистрируемый сейсмический сигнал в области целевых отражений и для исключения влияния интенсивных помех техногенного и иного характера. Кроме того, использование ограничивающих окон для расчета спектральной характеристики сигнала существенно сокращает время выполнения вычислений, что немаловажно для задачи сохранения производительности при проведении полевых работ.

На рис.3 представлен пример пространственно-временного окна, включающего набор целевых отражений. Окно выбрано таким образом, чтобы минимизировать влияние высокоамплитудной помехи от источника, что позволяет получить более достоверную частотную характеристику регистрируемого сейсмического сигнала.

Возможности Vibro Equalizer позволяют задать набор окон прямоугольной или криволинейной формы для расчета амплитудного спектра сигнала. Интерфейс пользователя программы обеспечивает простое редактирование границ окна путем их перетаскивания с помощью мыши.

Предварительная обработка данных.

Для получения наиболее достоверной характеристики настроенного сейсмического сигнала недостаточно одного

лишь использования пространственно-временных окон, необходимо выполнение предварительной обработки регистрируемых данных и программа обеспечивает возможность выполнения такой обработки.

Перечень одноканальных процедур обработки, включенных в состав Vibro Equalizer:

- 1) Прореживание трасс
- 2) Корреляция виброграмм
- 3) Полосовая частотная фильтрация
- 4) Регулировка амплитуд

Прореживание трасс: процедура может быть востребована, если существует необходимость исключить из анализа определенную совокупность трасс. Например, при работе с данными многокомпонентной сейсморазведки необходимо анализировать только вертикальную компоненту совокупной записи. И в этом случае удобно воспользоваться процедурой прореживания трасс, циклически исключаящей трассы из анализа по заданному признаку.

Корреляция виброграмм: программа позволяет выполнять корреляцию трасс виброграммы со свип-сигналом, записанным на техническом канале. Наличие данной процедуры позволяет выполнять регистрацию виброграмм без выполнения корреляции на сейсмостанции при проведении опытно-методических или производственных полевых работ. Регистрация виброграмм может быть необходима для выполнения последующей специфической обработки данных в рамках решения научно-исследовательских задач.

Полосовая частотная фильтрация: может быть необходимым при наличии в регистрируемых данных интенсивной помехи, характеризующейся узким частотным диапазоном. В этом случае

применение полосовой фильтрации повысит качество выделения полезной составляющей сигнала из общей сейсмической записи, что в свою очередь положительно скажется на эффективности выполнения адаптации возбуждаемого сейсмического сигнала.

Регулировка амплитуд: выполняет выравнивание абсолютных средних значений трасс путем применения нормирующего множителя, рассчитываемого для каждой трассы в отдельности. Данный тип регулировки амплитуд позволяет сбалансировать вклад ближних и дальних трасс в общую волновую картину, на основе которой формируется представление о настроенном полезном сейсмическом сигнале.

Адаптация возбуждаемого сигнала.

Одной из базовых идей технологии АВИСейс является принцип перераспределения энергии возбуждаемого сейсмического сигнала из области низких частот, где энергия регистрируемого сигнала избыточна, в область высоких частот для повышения соотношения сигнал/помеха в высокочастотной области спектра. Подразумевается, что настроенная сейсмограмма характеризует фильтрационные свойства участка сейсмогеологической среды и особенно – области ВЧР в точке возбуждения сейсмического сигнала. Таким образом, адаптированный возбуждаемый сигнал должен компенсировать недостающую энергию в спектральной области, и поэтому он, по сути, является обратным фильтром по отношению к исходному сигналу.

С технической точки зрения расчет адаптированного сейсмического сигнала сводится к инвертированию исходного сигнала путем его обратного деления в спектральной области. Схематически

постановка и решения задачи проиллюстрированы на рис. 4.

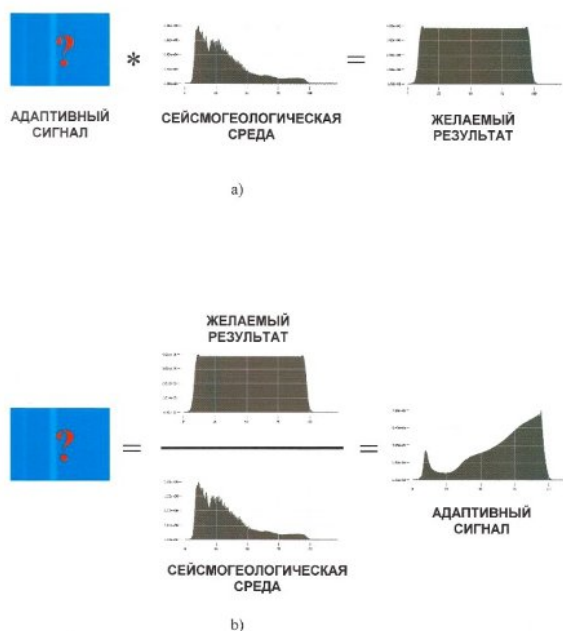
Рис. 4 (а) отражает сверточную модель неизвестного адаптивного сигнала и фильтра сейсмогеологической среды. В качестве желаемого результата рассматривается спектральная характеристика регистрируемого сейсмического сигнала с равномерным распределением энергии в рабочем диапазоне частот.

Рис. 4 (b) схематически изображает алгоритм расчета адаптивного свип-сигнала как результат инвертирования АЧХ сейсмогеологической среды в спектральной области.

Параметры адаптации свип-сигнала.

В качестве регуляризирующего параметра алгоритма введен так называемый «коэффициент адаптации», обеспечивающий исключение крайних вариантов решения. Коэффициент адаптации задается в процентах. С физической точки зрения данный параметр определяет уровень энергии сигнала по отношению к максимуму, ниже которого возбуждае-

▼ Рис. 4. Адаптация возбуждаемого сигнала: а) – схематическая постановка задачи; б) – принцип расчета адаптивного сигнала.

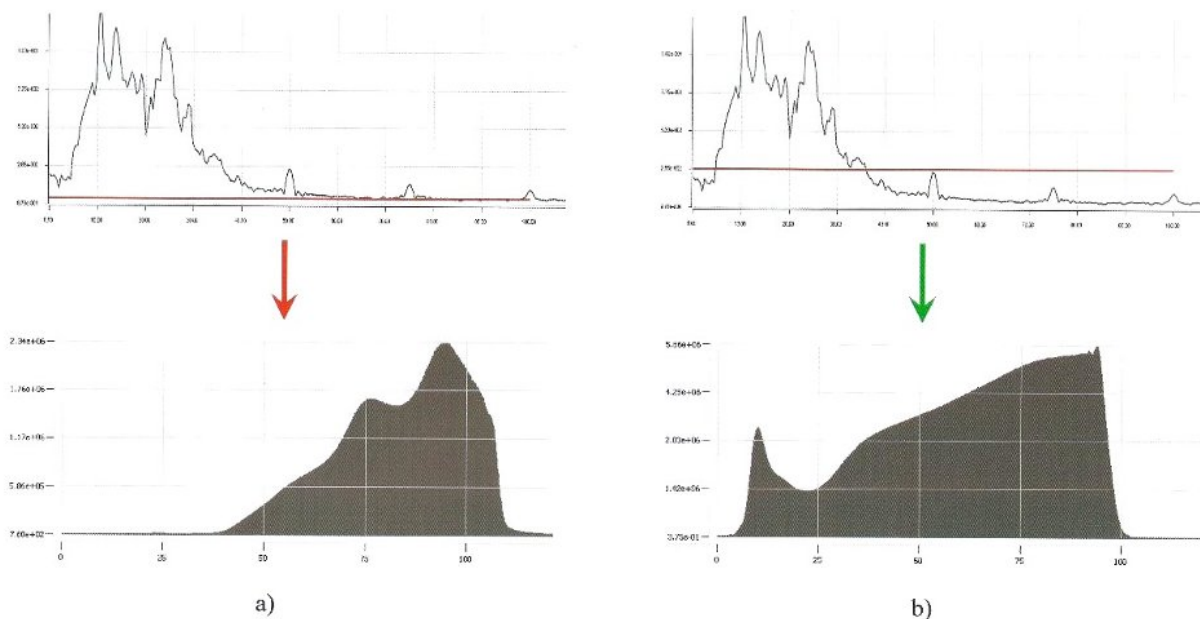


мый сейсмический сигнал не может опуститься на любом из участков рабочего диапазона частот. В выборе корректного значения данного параметра заключается одна из главных задач опытно-методических работ, выполняемых по технологии АВИСейс®.

На рис.5 (а) представлен тривиальный случай - пример расчета амплитудного спектра адаптивного свип-сигнала при нулевом значении коэффициента адаптации. В результате простой инверсии исходного спектра на полученной характеристике наблюдается почти полное отсутствие энергии возбуждаемого сигнала в самом эффективном сейсмическом диапазоне частот – от нуля до 40 Гц. Это означает, что в данном случае будет выполнено формальное перераспределение энергии из низких частот в высокочастотную область спектра, но желаемый результат не будет достигнут в связи с отсутствием энергии в основном диапазоне частот.

Рис. 5 (b) иллюстрирует другой случай – расчет адаптивного спектра при значении коэффициента адаптации 20%. Результат выполненного преобразования показывает, что выбранное значение коэффициента адаптации, с одной стороны, обеспечивает равномерное распределение энергии на минимально-необходимом уровне во всем интервале частот, и, в то же время, позволяет реализовать существенное и эффективное перераспределение избыточной энергии в область высоких частот.

Таким образом, выбор оптимального значения коэффициента адаптации позволяет добиться желаемых результатов и при этом избежать падения уровня возбуждаемой энергии на отдельных участках спектра до критически низкого уровня.



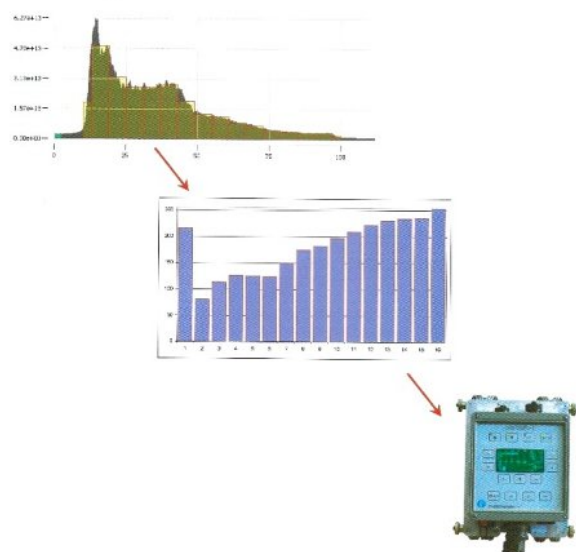
▲ Рис. 5. Варианты расчета адаптивного свип-сигнала при различных значениях параметра «коэффициент адаптации»: а) - коэффициент адаптации = 0%; б) - коэффициент адаптации = 20%.

Взаимодействие программы с БУСВ GDS-II.

Заключительным этапом работы Vibro Equalizer является передача рассчитанной амплитудно-частотной характеристики адаптивного сигнала в блок управления виброисточником GDS-II. С целью минимизации временных затрат на выполнение данного этапа, рассчитанный амплитудный спектр сигнала дис-

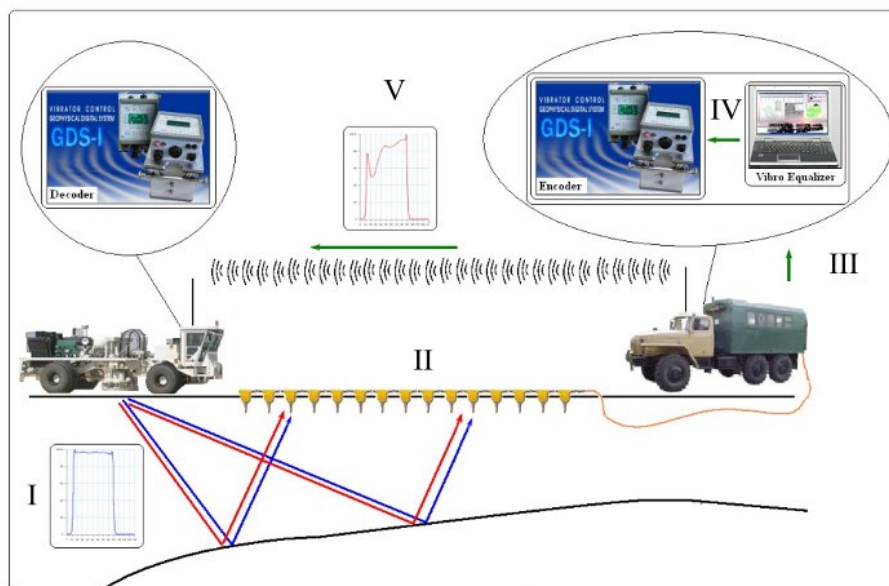
кретизируется 16-ю частотными интервалами и в виде набора амплитудных коэффициентов передается по локальной сети ВПО управления оборудованием (рис. 6). В дальнейшем переданные амплитудные коэффициенты преобразуются во временной ряд значений амплитуды, на основе которого и выполняется физическое возбуждение сейсмического сигнала.

▼ Рис. 6. Схема передачи амплитудного спектра в БУСВ GDS-II.



2. Технология адаптивной вибрационной сейсморазведки (АВИСейс®)

Основной причиной, побудившей исследователей разработать данную технологию являлось неудовлетворенность результирующими данными, получаемыми с применением стандартных ЛЧМ-сигналов. При этом за счет частотно-зависимого затухания, обусловленного сложно-построенной ВЧР, спектр колебаний сужается, приводя к значительной потере разрешенности данных, которую, зачастую не удастся повысить на этапе обработки. Сложилось стойкое мнение, что вибрационные



▲ Рис. 7. Обобщенная схема работы по технологии адаптивной вибрационной сейсморазведки (АВИСейс).

данные всегда уступают данным, полученным с применением взрывных технологий. Как будет показано далее, - это не так. Возможности управления посылаемых вибросигналов позволяют получать такие результаты, которые не будут уступать, а во многих случаях и превосходить взрывные данные.

Адаптивная технология вибросейсморазведки (АВИСейс) – это технология, в которой по тем или иным установленным критериям (в данном случае достижение наиболее широкополосного амплитудно-частотного спектра полезных отраженных волн в целевом интервале времени) на основе анализа отклика среды на предварительно посланный сигнал осуществляется выбор оптимальных рабочих нелинейных вибросигналов, оптимизирующие заданные параметры сейсмической записи, причем процесс выбора осуществляется в реальном времени и в автоматизированном режиме[4].

На рис. 7 изображена обобщенная схема работы по технологии АВИСейс.

- при первом накоплении на каждом ПВ генерируется ЛЧМ-сигнал;

- производится регистрация отклика среды на этот сигнал;

- виброграмма передается в программу VibroEqualizer для анализа и расчета коэффициентов адаптивного вибросигнала;

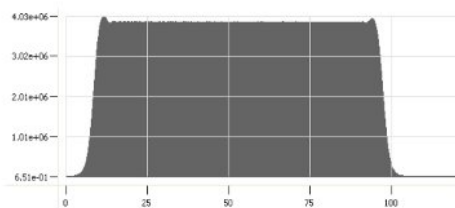
- передача рассчитанных коэффициентов в шифратор (Encoder) GDS-II станции для расчета нового свип-сигнала (адаптивного, нелинейного) на основании полученных коэффициентов;

- передача рассчитанного адаптивного нелинейного свип-сигнала в дешифратор (Decoder) вибровибраторных источников по радиоканалу для генерации последующих накоплений на данном ПВ.

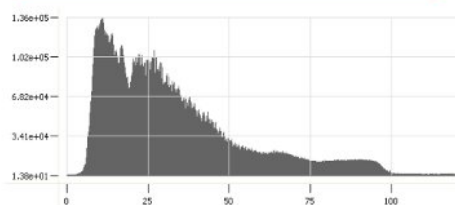
Еще раз подчеркнем, что весь вышеописанный процесс адаптации происходит в реальном времени и в автоматическом режиме.

На рис. 8 показана схема вычисления спектра оптимального адаптивного свип-сигнала на реальных данных. Обращаем внимание на α -коэффициент адаптации (параметр регуляризации, или фактор шума), который необходим для исключения неопределенности на участках спектра с небольшим уровнем сигнала.

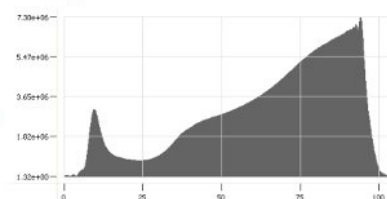
СПЕКТР желаемого
отклика среды на
адаптивный свип



СПЕКТР отклика на
лчм-свип - АЧХ
геологической среды



СПЕКТР
адаптивного сигнала



$$S(f)_{\text{avis}} = \frac{1}{S(f)_{\text{response}} + \alpha} \quad \alpha - \text{коэффициент адаптации}$$

▲ Рис. 8. Схема вычисления спектра оптимального адаптивного свип-сигнала.

При проведении опытно-методических работ этот параметр является единственным, который тестируется на конкретной площади исследований.

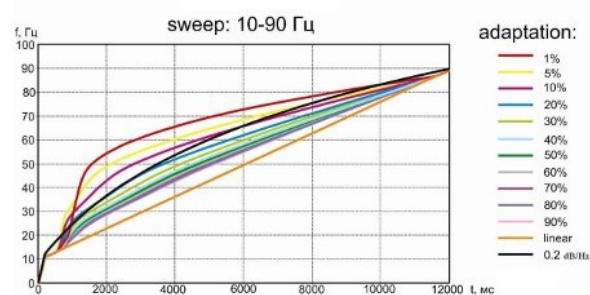
На рис. 9 изображено семейство графиков $f(t)$ для адаптивного свип-сигнала в зависимости от коэффициента адаптации. Коэффициент адаптации задается в процентах - от 1% - до 90%.

При $\alpha = 1\%$ - самый жесткий режим адаптации. При этом участок частотного диапазона свип-сигнала от 10 до 50 Гц реализуется меньше, чем за 2 сек (общая длина свип-сигнала 12 сек). Оставшаяся часть частотного диапазона (50 – 90 Гц) реализуется за оставшееся время. При $\alpha = 90\%$ свип-сигнал становится квазилинейным.

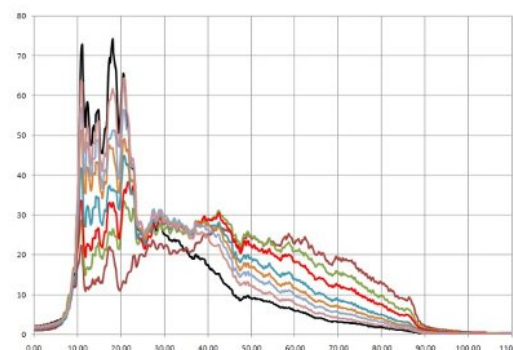
На рис. 10 показано семейство спектров откликов для семейства адаптивных свип-сигналов в зависимости от коэффициента адаптации по реальной сейсмограмме.

Хорошо видно, как при уменьшении коэффициента адаптации происходит перераспределение посылаемой энергии свип-сигнала из низкочастотной части (10 – 35 Гц) в средне-высокочастотную часть (35 – 90 Гц).

Совершенно закономерно, что при этом спектр становится в диапазоне $\alpha=15-25\%$ близким к прямоугольному хотя общий уровень энергии несколько

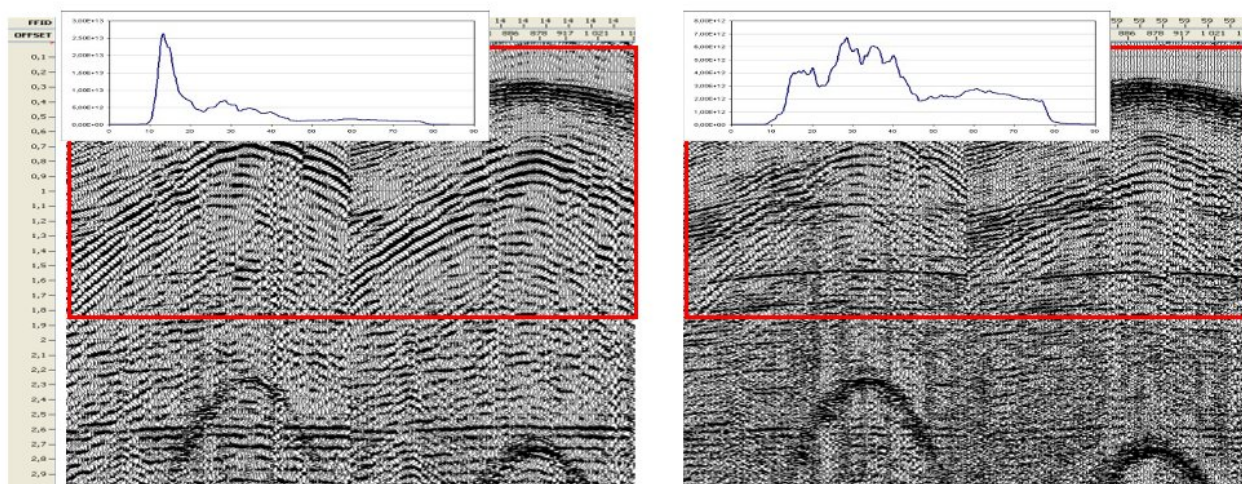


▲ Рис. 9. Семейство графиков $f(t)$ для адаптивного свип-сигнала в зависимости от коэффициента адаптации.



▲ Рис. 10. Спектры откликов для семейства адаптивных свип-сигналов в зависимости от коэффициента адаптации по реальной сейсмограмме.

снижается. На рис. 11 показаны реальные коррелограммы, полученные с ЛЧМ - и адаптивными сигналами (коэффициент адаптации = 20%). В проведенных многочисленных опытно-методических работах был определен диапазон коэффициентов от 10 до 30%, наиболее эффективных с точки зрения расширения спектра возбуждаемых колебаний.



Линейный свип

Адаптивный свип

▲ Рис. 11. Сравнение фрагментов коррелограмм 3Д и их спектров: линейный свип-сигнал 1 0-80 Гц, адаптивный свип-сигнал 10-80 Гц (фактор шума 20%)

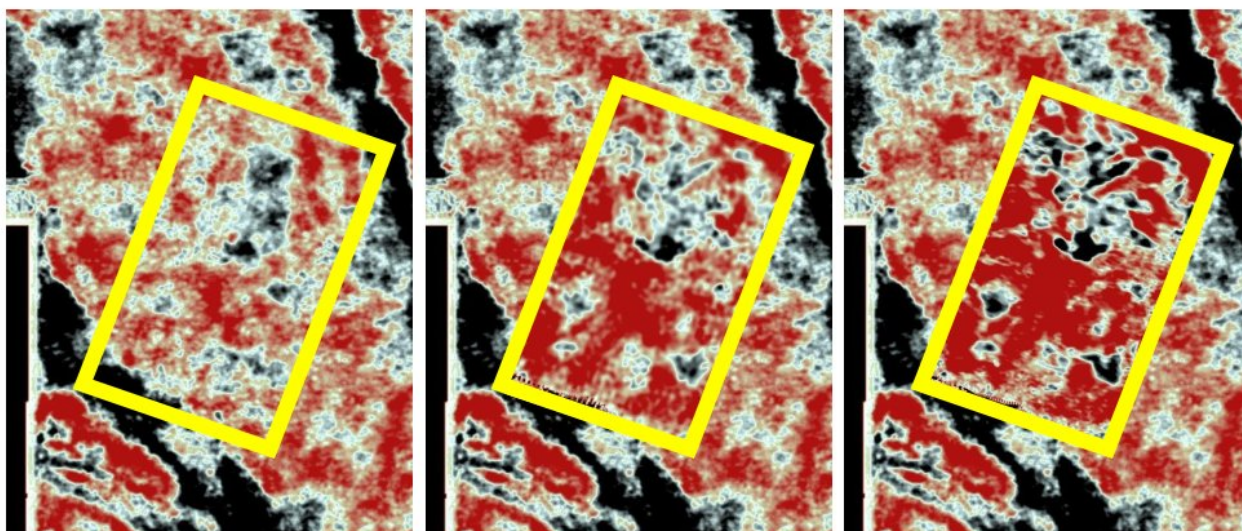
Адаптация выполняется на каждом ПВ, хотя не исключен вариант изменения возбуждаемого сигнала только при резкой смене поверхностных условий.

На Рис. 12 изображены одни из первых результатов опытно-методических работ на севере Ямало-Ненецкого округа с применением технологии АВИСейс. Необходимо пояснить, что несколько лет назад вся площадь была отработана с применением стандартной вибротехнологии (линии ЛП и ЛВ размещаются ортогонально с интервалом 300 м, ЛЧМ-

сигнал, группирование 4-х виброисточников).

По технологии АВИСейс (ЛП ЛВ – 100-200м) была отработана площадь ~ 30 кв.км в центре структуры. Обработка как старых, так и новых данных проводилась по единому графу. Для того, чтобы разделить эффекты, создаваемые применением технологии АВИСейс и уплотнением системы наблюдений по новым данным было получено два куба, - с плотной (ЛП x ЛВ = 100x200м) и разряженной (ЛПxЛВ=300x300м).

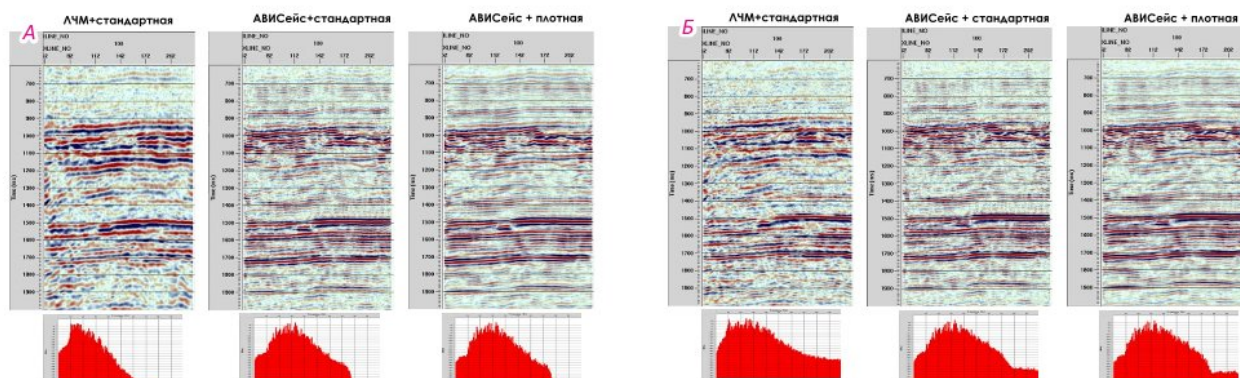
▼ Рис. 12. Повышение динамической выразительности и разрешённости сейсмической записи при совместном применении АВИСейс и плотной съёмки. Временные срезы - на уровне сеноманской залежи.



ЛЧМ + стандартная съёмка
(ЛПхЛВ=300х300 кв.м, бин 25х25 кв.м)

АВИСейс + стандартная съёмка
(ЛПхЛВ=300х300 кв.м, бин 25х25 кв.м)

АВИСейс + плотная съёмка
(ЛПхЛВ=100х200 кв.м, бин 12,5х25 кв.м)



▲ Рис. 13. АВИСейс+уплотнение системы наблюдения: а - обработка без деконволюции, б - обработка после деконволюции.

Можно отметить значительное улучшение детальности изображения за счет только применения технологии АВИСейс. Увеличение плотности съёмки обеспечивает дополнительное улучшение соотношения сигнал/помеха, без изменения конфигурации горизонтального среза. В дальнейшем вся площадь ~ 1000 кв.км. была отработана по технологии АВИСейс®. Рассматриваемая технология оказалась оптимальной для севера Западной Сибири и в дальнейшем еще около 3 500 кв.км площадей была покрыта данным видом съёмки.

Часто задаваемым вопросом на презентациях технологии АВИСейс является следующий: зачем нам применять специализированные сигналы, в частности АВИСейс, когда можно с успехом выровнять спектр виброколебаний при обработке полевых данных. Да, различные алгоритмы деконволюции позволяют это сделать, и, как правило, входят в основной граф обработки сейсмических данных. Но, в случае плохого соотношения сигнал/помеха, а как известно, земная толща поглощает в значительной степени частотные составляющие свыше 45-50 Гц, применение данной операции можно привести только лишь к зашумлению результирующих данных. Задача технологии АВИСейс – повысить энергию средне-высокочастотных составляющих вибросигнала уже в процессе полевых работ. При этом будет обеспечена кор-

ректная работа операции деконволюции при дальнейшей обработке. Рис. 13 демонстрирует данный эффект.

Эти данные были получены на одной из площадей севера Западной Сибири. Отметим на полученных разрезах аномалию на времени ~ 1500 мс. Здесь также, как и в предыдущем примере, были проведены работы по стандартной технологии и технологии АВИСейс (~ 25 кв.км.)

Один из вопросов, который часто возникает – «Вы формируете на каждом ПВ свой сигнал, при этом могут исказиться динамические характеристики записей. А кто сказал, что при возбуждении ЛЧМ-сигнала в земную толщу возбуждается одинаковый сигнал?» Ответ следующий – «Да, автокорреляционная функция ЛЧМ-сигнала имеет красивый компактный вид, но вибросигнал, проходя через ВЧР (а это десятки и даже сотни метров) будет искажаться в зависимости от характеристик ВЧР в той или иной точке профиля. Скорее наоборот, адаптивный сигнал пытается компенсировать искажающее влияние ВЧР при его посылке в земную толщу».

На рис. 14 изображены горизонтальные срезы рассматриваемой площади при посылке ЛЧМ - сигнала и сигнала АВИСейс. Хорошо видно значительное увеличение четкости изображения, в случае АВИСейс.

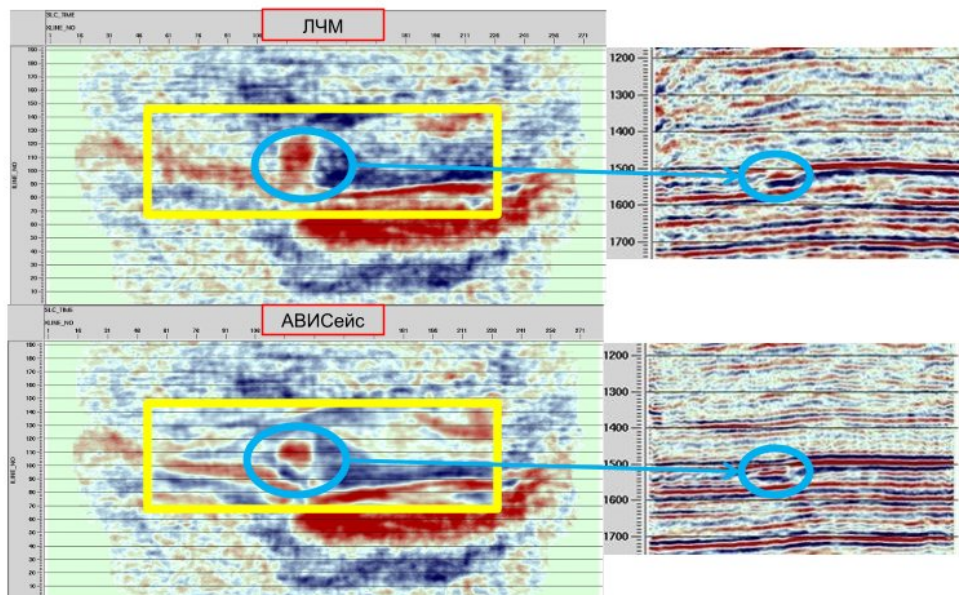


Рис. 14.
Сравнение
горизонтальных
срезов кубов 3Д
с линейным
и адаптивным
свип-сигналами.
Срез на времени
1516 мс.

Рис. 15. Отображение русловых объектов на срезах ниже ОГ М.

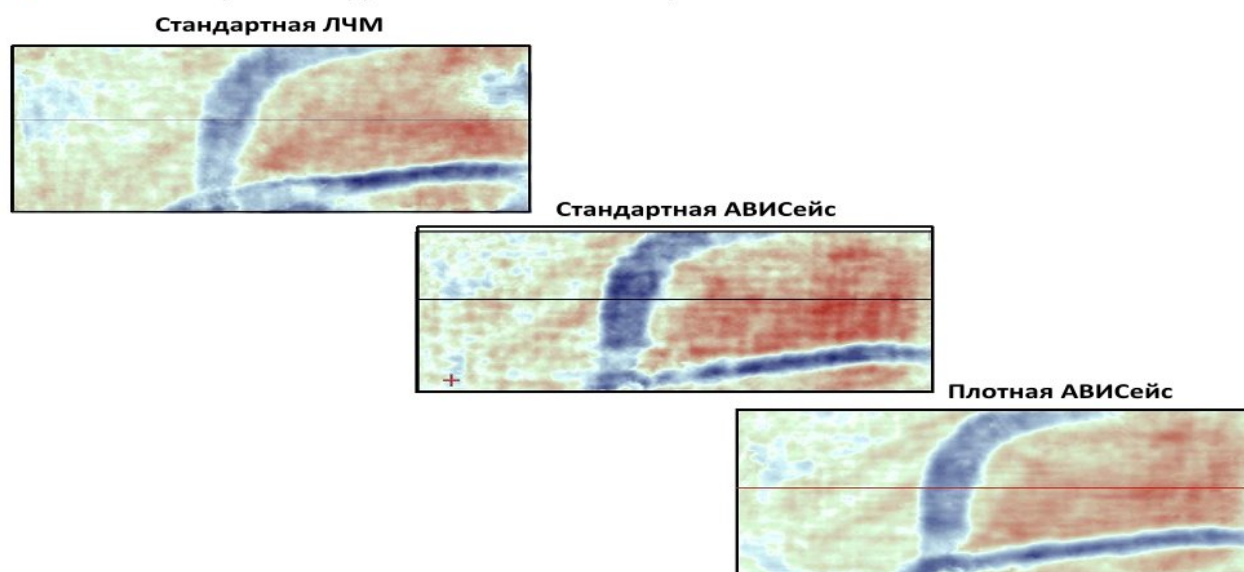
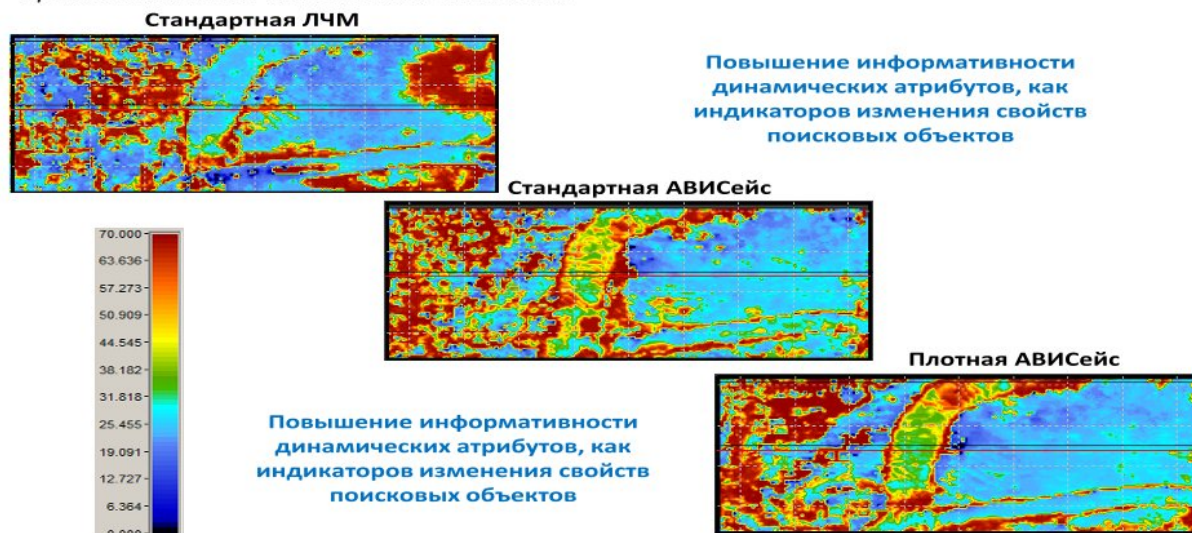


Рис. 16. Отображение русловых объектов на срезах ниже ОГ М.
Среднее значение мгновенной частоты.



На Рис. 15 показано изображение русловых объектов на срезах ниже ОГМ. На рис. 16 изображены эти же русловые объекты в средних значениях мгновенной частоты. В случае ЛЧМ-сигнала два канала имеют схожие динамические характеристики, тогда как адаптация, расширение спектра, позволило идентифицировать их как объекты с различной литологией.

Это служит хорошей иллюстрацией к вопросу об искажении динамических характеристик и, в дальнейшем, при проведении многочисленных опытно-методических работ, динамические характеристики были идентичные, как и в случае ЛЧМ-сигнала, либо более детализированные за счет более широкого частотного спектра виброколебаний.

Авторы выражают благодарность сотрудникам ООО "НПП "Спецгеофизика" Калимулину Р.М., Малышеву А.С., Гридину П.А., Телкову М.П., внесшим большой вклад в реализацию идеи адаптации на основе создания соответствующих аппаратных и программных средств.

Литература

1. Жуков А.П., Шнеерсон М.Б. Адаптивные и нелинейные методы вибрационной сейсморазведки. М., ООО "Недра-Бизнесцентр", 2000.
2. Жуков А.П. и др. Сейсморазведка с вибрационными источниками. Издательство ГЕРС, Тверь, ISBN 978-5-88942-106-1, 2011.
3. Wei Z., Pan Y. Vibroseis source improvements towards broadband land acquisition. First Break, Volume 33, Issue 1, Jan 2015.
DOI: <https://doi.org/0.3997/1365-2397.33.1.79052>
4. Zhukov A. The adaptive vibroseis technology: Hardware, software, and outcomes. SEG Technical Program Expanded Abstracts, 2013.
<https://doi.org/10.1190/segam2013-0542.1>

Подробнее об авторах



Жуков А.П.

генеральный директор
ООО "Геофизические
системы данных",
д.т.н.



Коротков И.П.

главный геофизик
ООО "Геофизические
системы данных",
к.т.н.



Тищенко А.И.

ведущий геофизик
ООО "Геофизические
системы данных"