

РАЗВИТИЕ МЕТОДИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СРЕДСТВ СОПРОВОЖДЕНИЯ ПОЛЕВЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ РАБОТ

Одной из наиболее важных функций сопровождения полевых сейсмических работ является оценка качества получаемых материалов, как в процессе их производства, так и по их завершению: полному и/или отдельных этапов. Для реализации этой функции необходимо решение комплекса задач, включающего:

- анализ соответствия Техническому заданию (ТЗ) и проектно-сметной документации (ПСД) реализуемой методики полевых работ и применяемых средств;
- оценку качества получаемых сейсмограмм, корректности и полноты сопровождающей их информации;
- аналитическую поддержку проведения опытных работ;
- аналитическое сопровождение приемки полевых работ, в том числе определение объемов выполненных работ с учетом оценок качества сейсмограмм;
- формирование базы данных промежуточной и результативной информации, получаемой в процессе сопровождения, как необходимого элемента автоматизации взаимосвязанного решения отдельных задач комплекса, подготовки аналитических записок по результатам сопровождения, в том числе и отчетов, а также обеспечения возможности передачи полученных данных для последующей централизованной обработки сейсмограмм, –

которое обеспечивается специализированной системой «SeisCont» (ВНИГНИ–ВНИИГеосистем) [1]. Система ориентирована на сопровождение работ сейсморазведки 2D и широко применяется на протяжении ряда лет в региональных сейсмических исследованиях, выполняемых за счет средств Государственного бюджета, а также по заказам недропользователей.

Система в изначальной своей редакции в полной мере обеспечивает решение указанного выше комплекса задач и дополнительно включает средства оценок качества результатов обработки

и корректности принятых кинематических характеристик отраженных волн. Немаловажным является формирование в процессе выполнения работ базы данных (БД) получаемой информации. Наличие БД предоставляет пользователю возможности использования информации при последующей обработке сейсмограмм.

Система апробирована в различных режимах сопровождения полевых работ: от непрерывного в процессе производства работ до приемки получаемых материалов Заказчиком по полному завершению работ или на их отдельных этапах.

Актуальное состояние системы отличает возможность расчета широкого набора атрибутов сейсмической записи. В их числе:

- динамические и спектральные характеристики, результаты их статистического обобщения;
- оценка времен первых вступлений волн путем их автоматизированного прослеживания как по сейсмограммам, так и по модификациям разрезов равноудаленных трасс, что повышает надежность определения значений времен, а также возможность контроля (рис. 1а) и редакции положения ПВ в пределах сейсмограммы (регистрируемой последовательности ПП);
- оценка на сейсмограммах интервалов времени существования сигналов, достаточно представительных по значениям амплитуд, на основе которых определяются оценки значений атрибутов (рис. 1а);
- прогноз длительности сейсмической записи, в пределах которой возможно выделение сигналов при существующем уровне микросейсм и принятых значений параметров системы наблюдений (рис. 1б), что представляет собой необходимый элемент оценки количественной содержательности полученных материалов;
- оценка качества временных разрезов по совокупности безразмерных характеристик сейсмических сигналов по отдельным отражающим горизонтам и по корректности выбора скоростей суммирования.

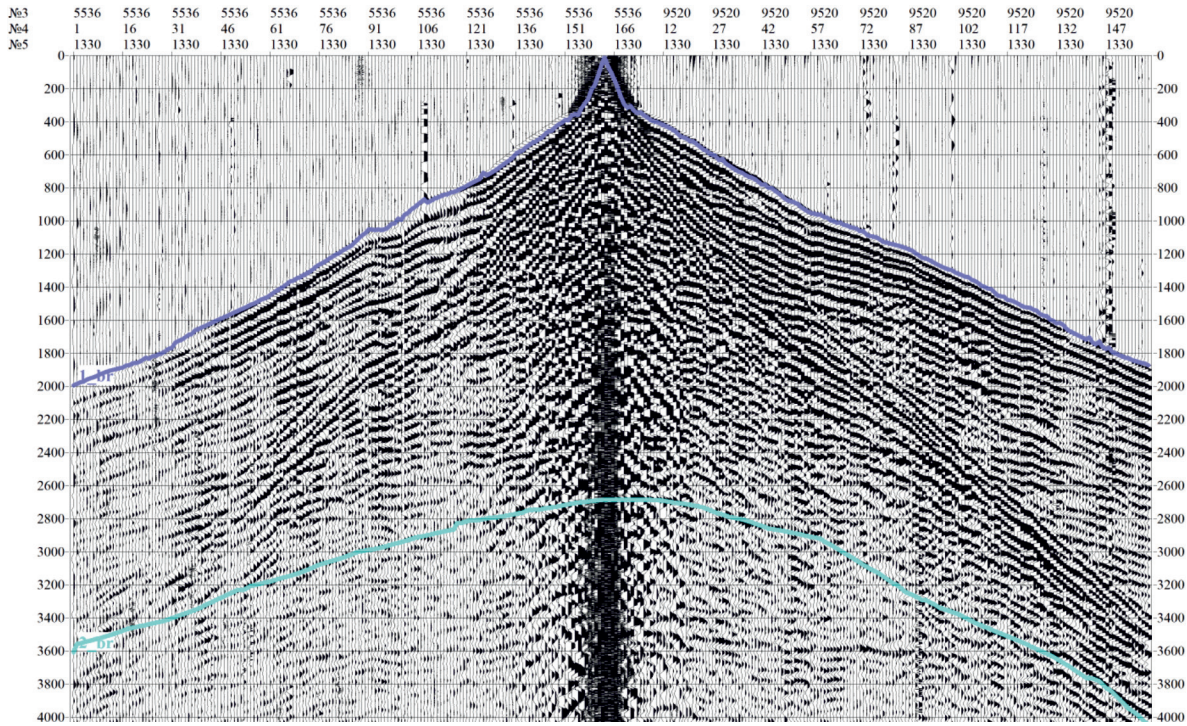


Рис. 1а. Пример оценки интервала уверенного прослеживания сигнала: начало интервала – линия времен первых вступлений (фиолетовая), окончание – линия времен, после которой резко снижается интенсивность сейсмической записи (голубой цвет)

Fig. 1a. Example of signal range tracking: the start – the first breaks line (dark blue), the end – the line marking off the reduction intensity of seismic record (blue)

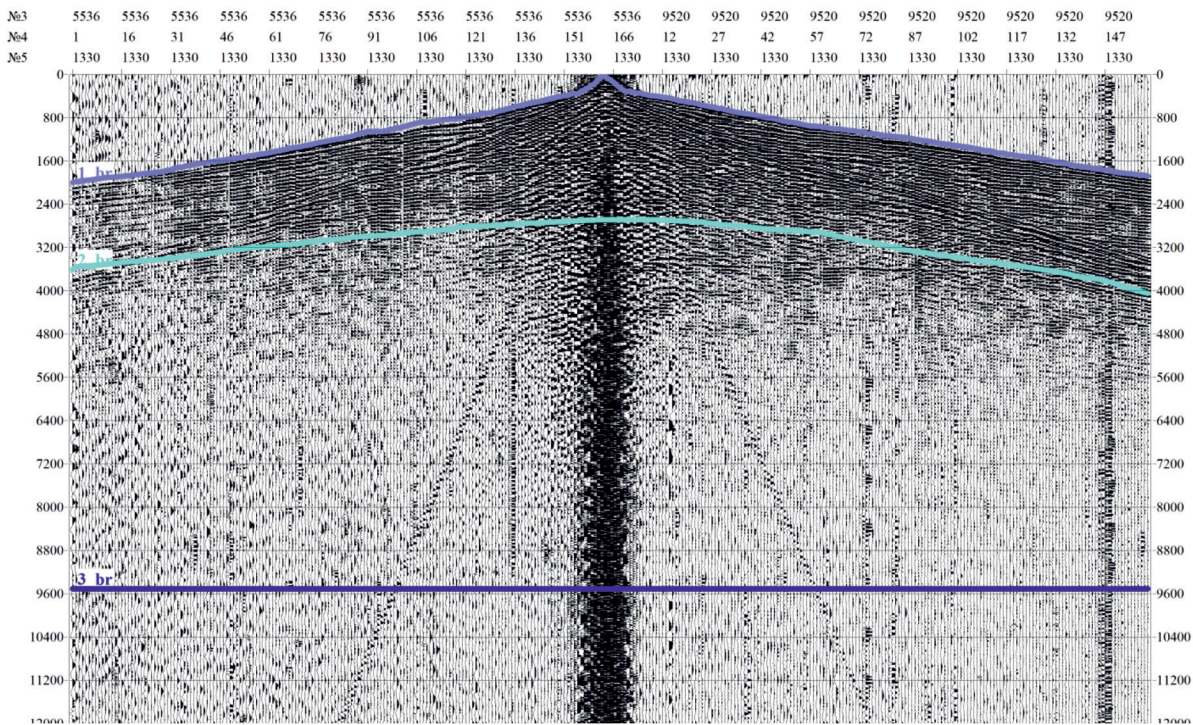


Рис. 1б. Осредненная по профилю оценка времени возможного выделения сигнала (линия темно-фиолетового цвета)

Fig. 1b. Time of signal potential definition averaged by profile (navy blue color)

Быстродействующий графический интерфейс системы предоставляет пользователю широкие возможности по отображению наборов полевых сейсмограмм и их модификаций в композиции со значениями атрибутов или без них. Представлением атрибутов в различных ракурсах: на обобщенной плоскости и на плоскости ПВ–ПП (см. рис. 2 и 3) – обеспечивается оперативный анализ качества получаемой информации в его привязке к ПВ или ПП на различных участках профиля.

Накопленный опыт ее применения показал, что развитие методико-технологических средств актуально по трем направлениям:

- повышение оперативности анализа представленных полевых сейсмограмм и сопровождающей информации;
- реорганизация информационного обеспечения;
- оценка содержательной составляющей качества получаемых полевых материалов.

Первые два направления обеспечивают расширение технологических возможностей системы в условиях значительного увеличения числа регистрируемых каналов, использования модификации широкого профиля, в перспективе – и 3D-съемок, а третье предназначено для прогноза возможности

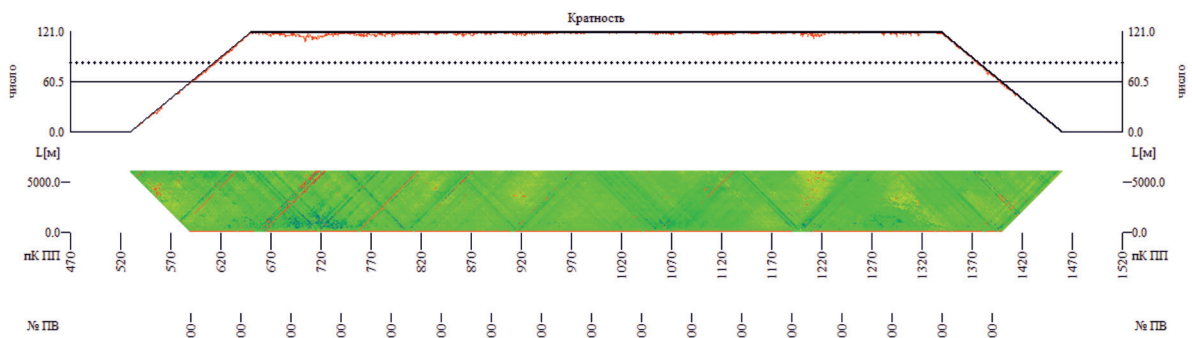


Рис. 2. Обобщенная система наблюдений с распределением значений атрибута – эффективная ширина спектра, красным цветом – некондиционные трассы

Fig. 2. source-receiver configuration with attribute – effective bandwidth and red-colored off – specs traces

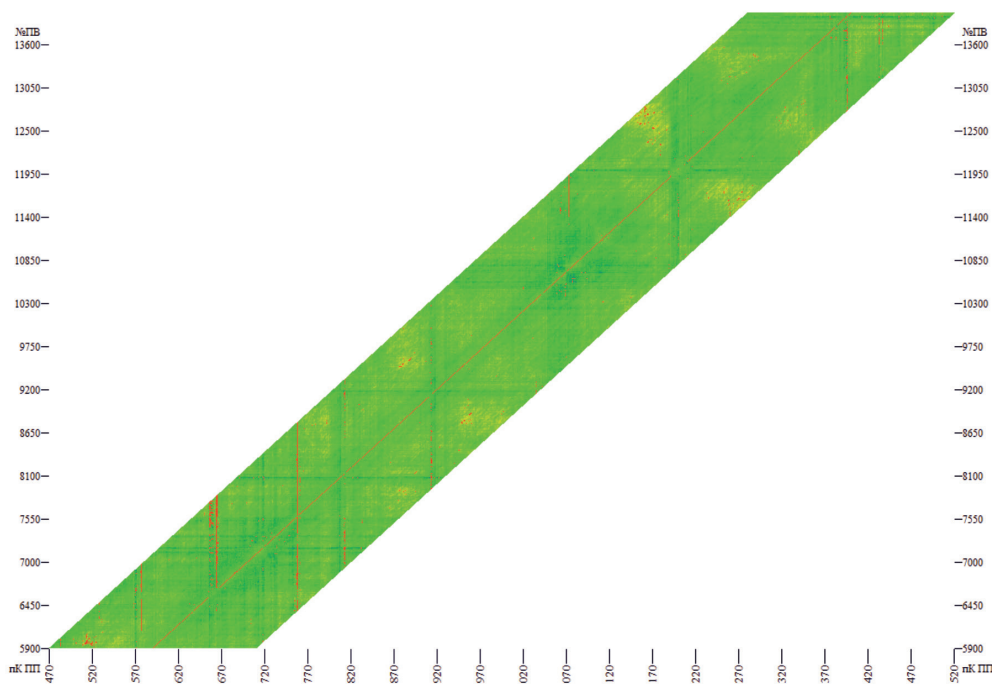


Рис. 3. Система наблюдений на плоскости (ПВ–ПП) с распределением значений атрибута – эффективная ширина спектра, красным цветом – некондиционные трассы

Fig. 3. Source-receiver configuration (SP-RP) with attribute – effective bandwidth and red-colored off – specs traces

успешной обработки полученной информации. Ниже последовательно рассмотрены отдельные решения по каждому из направлений.

Повышение оперативности анализа представленных полевых сейсмограмм и сопровождающей информации

Опыт сопровождения полевых работ и приемки полевых материалов свидетельствует о возникновении значительных трудностей контроля информации при отклонениях форматов данных и их содержания от принятых стандартов. Это касается как сопровождающей информации, так и файлов исходных сейсмограмм. Преодоление этих трудностей средствами общего программного обеспечения компьютеров связано с большими и малопродуктивными затратами времени. При этом, как правило, нередко возникают и дополнительные ошибки, обусловленные человеческим фактором. В свете сказанного, в автономных утилитах анализа трасс сейсмограмм (АТС) и модулях системы графоаналитического интерфейса к базе данных (ГАИ) разработаны следующие функции.

1. По анализу полевых сейсмограмм:

- просмотр заголовков файла и сейсмической записи файлов формата SEG-Y, SEG-D;
- проверка сейсмограмм на уже существующий номер МГ в БД;
- технология редакции заголовков трасс на основе задаваемых вычислений с использованием или без других заголовков трасс, реализуемая на этапах чтения и записи сейсмограмм;
- поддержка файлов с разным количеством отсчетов на трассах путем объединения файлов по наименьшему числу отсчетов.

При сопровождении полевых работ, а также при необходимости анализа больших объемов данных актуален режим добавления файлов чтения. Для обеспечения этого режима расширены возможности таблицы файлов на основе организации их виртуального списка.

2. По анализу сопровождающей информации:

- просмотр и редакция SPS-файлов, включая проверки их модификаций S и R для последующего присвоения координат пунктов возбуждения и приема;
- обеспечена возможность присвоения номеров пикетов ПВ, ПП и ОСТ в единой шкале

на основе проложения в автоматическом режиме маршрута ОСТ в качестве линии профиля, относительно которой формируются номера пикетов; это дополнение позволяет оперативно проанализировать заданную последовательность ПВ, ПП и при необходимости ее отредактировать.

Усовершенствован интерфейс с базой данных путем модернизации управления отображением сейсмограмм или разрезов, системы наблюдения (продольный профиль), необходимых при анализе схемы отработки (см. рис. 4), а также выгрузка данных по линиям ПВ, ПП, как функция импорта данных, для последующего анализа и редакции.

Реорганизация информационного обеспечения

Отмеченное выше увеличение объемов исходной информации приводит к необходимости реорганизации БД системы «SeisCont», которая обусловлена в первую очередь ограничениями, наложенными на применяемые средства управления базами данных (СУБД) Microsoft Access. Основным из них является ограничение на объем БД – до 2 Гб. Его совершенно не достаточно для оценки качества самой маленькой 3D-площади.

Для выполнения реорганизации БД проведены исследования по выбору СУБД, результаты которых приведены ниже:

1. Из рассмотрения были исключены СУБД, требующие существенных накладных расходов и дополнительных мер по администрированию, такие как ORACL Database, MS SQL Server, IBM DB2 и т.п. Это обусловлено как высокой их стоимостью, зачастую составляющей значительную часть стоимости всего комплекса «SeisCont», так и необходимостью функционирования пакета в полевых условиях, где отсутствует возможность оперативного обращения к специалистам по БД для ее текущей настройки, наладки или устранения возникших сбоев.

2. СУБД с близкими к MS Access параметрами, но позволяющими управлять БД с существенно большими объемами, являются:

- MS SQL Server Express;
- SQLite;
- MySQL;
- Postgres Pro.

Максимальные объемы БД для этих СУБД представлены в табл. 1.

Таблица 1

СУБД	MS SQL Express	SQLite	MySQL	Postgres Pro
Объем, Гб	10	32 000	64 000	32 000

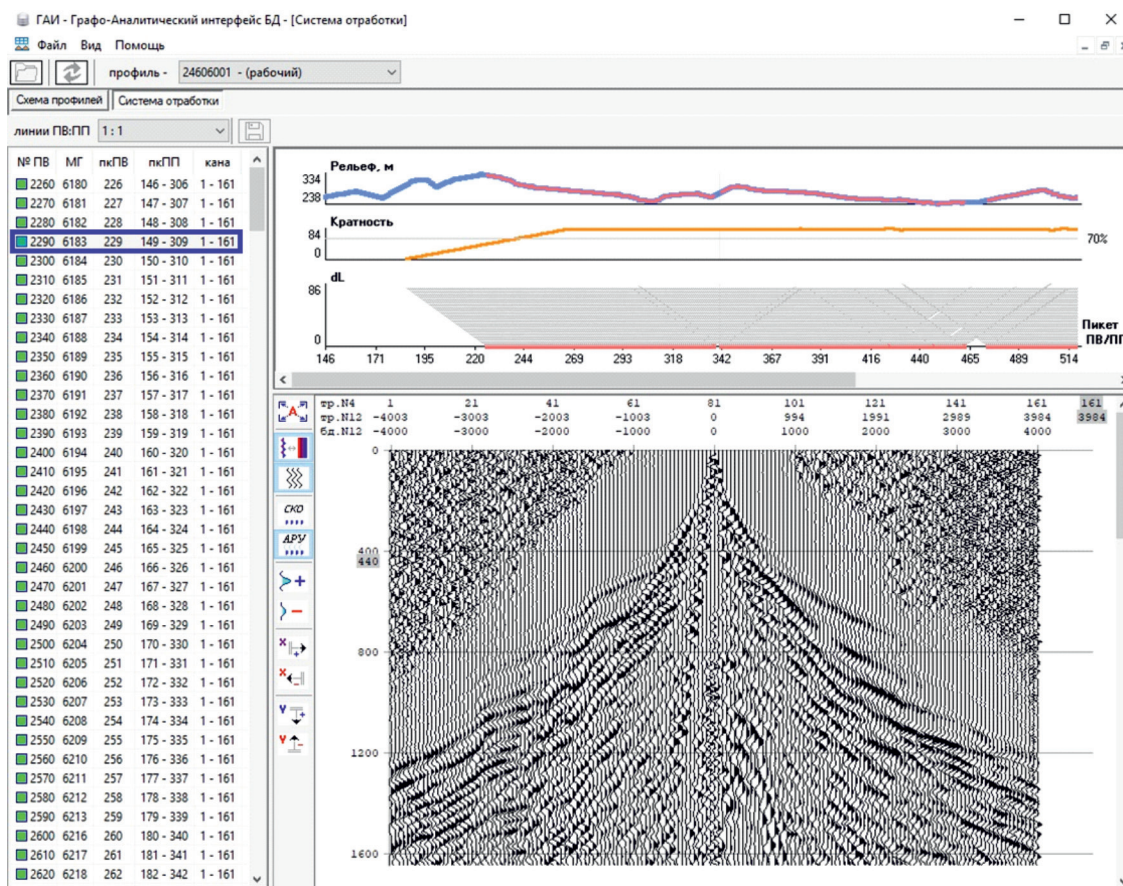


Рис. 4. Пример интерфейса оперативного анализа сейсмограмм и сопровождающей информации: слева таблица с номерами пунктов возбуждения в БД, магнитограмм, номеров пикетов ПВ и ПП и связанный с ними список каналов активной расстановки. Над сейсмограммой представлены графики альтитуд рельефа ПВ, ПП, значения кратности и схема наблюдения на обобщенной плоскости

Fig. 4. The example of interface for operational analysis and information about geometry: leftward – the table of receiver points numbers in database, FFID, SP and RP station and channel list of active array. Above gather: altitudes for source and receiver points, fold and source-receiver configuration

Для MS SQL Server Express максимальный размер БД не сильно отличается от размера MS Access, и этого объема недостаточно для работы с 3D-данными. Для оставшихся СУБД были проведены тесты с объемами данных средних для площади 3D равных 15 456 Гб из расчета: общее число физических наблюдений (ф.н.) 40 000, линий ПП в расстановке 20, каналов в линии 161 – при 15 характеристиках на канал (трассу) и 8 байтах на значения характеристики. Тесты проводились на персональном компьютере (далее ПК) со средней производительностью: процессор Intel Core I5, ОЗУ 8 Гб, операционная система (далее ОС) Windows 7. Установлена следующая зависимость: при достижении определенного объема (30% от заданного максимума), практически вне связи со схемой БД, значительно возросло время доступа к данным. Для SQLite результаты тестирования приведены в табл. 2.

Данная зависимость не является следствием плохой работы СУБД и практически не зависит

от структуры БД. Наиболее вероятной причиной представляется совокупность ограничений ОС, вычислительной мощности ПК и скорости доступа к жесткому диску ПК. Так как перевод системы «SeisCont» на другую ОС, серверные мощности и дисковые массивы (с повышенной скоростью доступа к данным и увеличенной пропускной способностью) не представляется возможным, необходим иной вариант решения поставленной задачи. Он заключается в следующем:

- В основной БД оставлены только те данные, которые не относятся напрямую к характеристикам трасс и линий общей срединной точки (ОСТ), т.е. все те данные, которые составляют менее 99% объема БД.
- Данные с характеристиками трасс, вынесенные из БД, перенесены в отдельный файл с фиксированной структурой. При этом для каждой характеристики трассы отведено место вне зависимости от наличия или отсутствия

Таблица 2

Размер БД, Гб	Затраты времени на подсчет кол-ва записей в таблице, с	Затраты времени на загрузку в таблицу данных объемом 0,38 Гб, с
1,993	1	56
4,018	2,5	55
6,043	3,3	57
8,068	13,1	59
10,662	250	118

значений данной характеристики. Это позволяет создать файл сразу, не перезаписывая его при вычислении отдельных характеристик. Получать доступ к любой требуемой характеристике или их набору по фиксированному (вычисляемому) адресу без перебора, поиска, построения отдельных индексов и т.п.

- Данные по линиям ОСТ также выносятся в отдельные файлы с фиксированной структурой, с той разницей, что для каждой линии ОСТ создается отдельный файл.

Представленное решение имеет следующие положительные стороны:

- объем БД становится менее 1 Гб, что позволяет использовать СУБД MS Access;
- скорость доступа к данным не изменяется при увеличении объема данных;
- скорость записи данных в файл фиксированной структуры и фиксированного размера значительно выше, т.к. не требует изменения размера файла, перемещения его частей и т.п.;
- отсутствуют накладные расходы на ведение индексов, поиск, перебор данных и т.д.

Издержки такого решения: файл фиксированного размера занимает место на диске для всех характеристик, даже в том случае, когда часть из них не будет рассчитываться в процессе оценки качества сейсмического материала. Но поскольку общий размер этого файла составляет менее 5% от объема исходного материала, представляется возможным этим пренебречь.

Таким образом, представляется возможным без смены СУБД и усложнения эксплуатации комплекса обеспечить приемлемые используемых объемов данных и необходимую производительность доступа к ним.

Оценка содержательной составляющей качества получаемых полевых материалов

Оценка качества полевых материалов может быть рассмотрена в двух аспектах, которые в совокупности составляют условия необходимости и достаточности качества выполнения полевых работ.

Так, в первом из них с учетом существующих регламентов проведения работ (Роснедра и/или организаций-заказчиков работ – недропользователей), требований ТЗ и ПСД устанавливается степень удовлетворения технических требований к получаемым материалам, прежде всего по параметрам и условиям возбуждения и регистрации сейсмических колебаний, к документированию наблюдений.

Во втором – возможности выделения и прослеживания сигналов отраженных волн, от которых зависит решение геологических задач, поставленных перед исследованиями. С определенной долей условности этот аспект оценки качества может быть сформулирован как удовлетворение требования геофизической содержательности получаемых материалов – возможности выделения сигналов отраженных волн.

Очевидно, что в полной мере установление содержательности достигается в процессе обработки материалов с использованием развитых комплексов программных средств на стационарных центрах. Тем не менее, на этапе сопровождения полевых работ целесообразно получение оперативной оценки того, что принятая методика полевых работ и применяемые технические средства возбуждения и регистрации упругих колебаний могут обеспечить выделение сигналов отраженных волн. Известные решения этой задачи ориентированы на выполнение оперативной обработки получаемых сейсмограмм в полевых условиях с построением временных разрезов средствами достаточно развитых систем обработки данных МОВ-ОСТ. Это существенно повышает требования к квалификации супервайзера и к объему выполняемых им работ. Частным случаем преодоления этого обстоятельства может рассматриваться дополнение супервайзерской службы специалистом по обработке. Однако и в том, и в другом случае существенно усложняется сам процесс сопровождения полевых работ. Поэтому представляется целесообразным создание методико-технологических средств, ориентированных на комплексное, с соблюдением двух указанных выше условий, решение задач сопровождения. При этом

оно должно быть обеспечено необходимой оперативностью, средствами автоматизации в процессе получения оценок, включая количественный прогноз возможности выделения сигналов отраженных волн по получаемым материалам, при ограниченном составе процедур и разнообразия графов обработки данных, упрощающих получение временного разреза и его модификаций.

Ниже рассматриваются методико-технологические средства подобного назначения в составе автоматизированной системы оценки качества сейсмических материалов «SeisCont» (ВНИГНИ – ВНИИГеосистем), ориентированной на сопровождение работ сейсморазведки 2D и широко применяемой на протяжении ряда лет в региональных сейсмических исследованиях, выполняемых за счет средств Государственного бюджета, а также по заказу недропользователей.

Приведенная характеристика автоматизированной системы «SeisCont» показывает, что она успешно решает задачу оценки технических кондиций полученных полевых материалов, удовлетворяющей условию необходимости. Для соответствия условиям достаточности возможности системы расширены до построения набора модификаций предварительного временного разреза, оценки качества прослеживания отражающих горизонтов и соответствующих им скоростных характеристик.

Условия реализации такого решения состоят в следующем.

1. Использование средств и результатов работы автоматизированной системы оценки качества сейсмических материалов «SeisCont», представленных в базе данных и включающих:

- геометризацию сейсмических трасс;
- автоматизированное формирование маршрута ОСТ (бинирование);
- наличие обобщения спектральных характеристик сейсмической записи;
- массивы значений времен первых вступлений;
- потрассовые оценки качества сейсмической записи, необходимые для выполнения процедур редакции;
- параметры процедур обработки (амплитудные регулировки, полосовая и режекторная фильтрации).

2. Максимально возможное упрощение подготовки и выполнения графа построения временного разреза, ориентированное на ограничение дополнительных затрат времени работы супервайзера.

3. Получение предварительного разреза при выполнении достаточно представительного объема наблюдений, значительно превышающего проектную кратность.

В свете сказанного расширенная версия системы «SeisCont» в качестве основных процедур построения предварительного разреза содержит:

- построение модели верхней части разреза (ВЧР) на основе автоматизированной обработки значений времен первых вступлений;
- выбор произвольной линии приведения и расчет от нее вариантов априорных статических поправок непосредственно по характеристикам модели ВЧР или с использованием замещения слоя;
- получение спектров скоростей вертикальных и горизонтальных и их интерпретация;
- набор одномерных (потрассовых) фильтраций, обеспечивающих подавление волн-помех, отличающихся от полезных сигналов спектральным составом;
- оценка качества выделения сигналов отраженных волн по совокупности горизонтальных спектров скоростей и осей синфазности на временных разрезах;
- подготовка обобщенной оценки качества осей синфазности сигналов отраженных волн и прогноз возможностей решения геологической задачи.

Отметим, что все операции выполняются в реальном времени без создания дополнительных модификаций исходного набора сейсмограмм. Вся необходимая информация и полученные результаты сохраняется в БД. На диск записываются вариант предварительного разреза и горизонтальные спектры скоростей в виде трасс разреза в формате SEG-Y.

В результате описанного анализа качества получаемых полевых материалов подготавливаются таблицы, отображающие объемы представленных материалов по профилям (или их фрагментов), обобщенные оценки качества технической и геофизической содержательности, объемы материалов с учетом оценок качества.

На рис. 5-8 приведены примеры применения процедур построения предварительного временного разреза:

- модель ВЧР (рис. 5);
- модификации временных разрезов без и с учетом априорных статических поправок, а также с использованием частотной декомпозиции (рис. 6-8);
- обобщенные оценки качества сигналов отраженных волн (приведены в подписях к рисункам).

Обобщенная оценка рассчитывалась в окрестности 4 горизонтов (их положение во времени показано в левой части рисунков) во временных окнах,

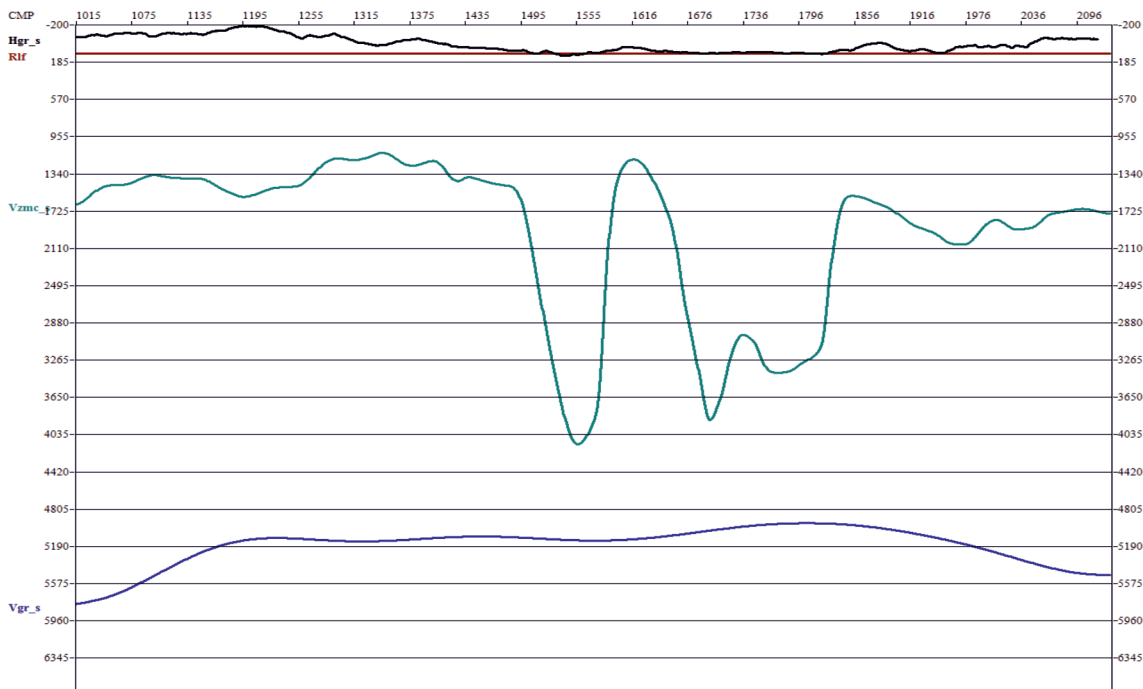


Рис. 5. Модель ВЧР: значения отметок рельефа и подошвы ЗМС (в абсолютных отметках в верхней части рисунка) и скорости распространения продольных волн в ЗМС и граничной скорости

Fig. 5. Near-surface model: depths of ground elevation and low-velocity layer bottom (in subsea depths – upper part of the image) and P-wave velocities in LVL and below LVL (refractor velocity)



Рис. 6. Предварительный временной разрез (без статических поправок). Обобщенная оценка – 0,691 (здесь и ниже 1, 2, 3, 4 – индексы горизонтов, по которым рассчитывались значения атрибутов)

Fig. 6. Brute stack (without statics). Generalized stack quality – 0,691 (here and below 1, 2, 3, 4 – horizons indexes used in attributes computation)

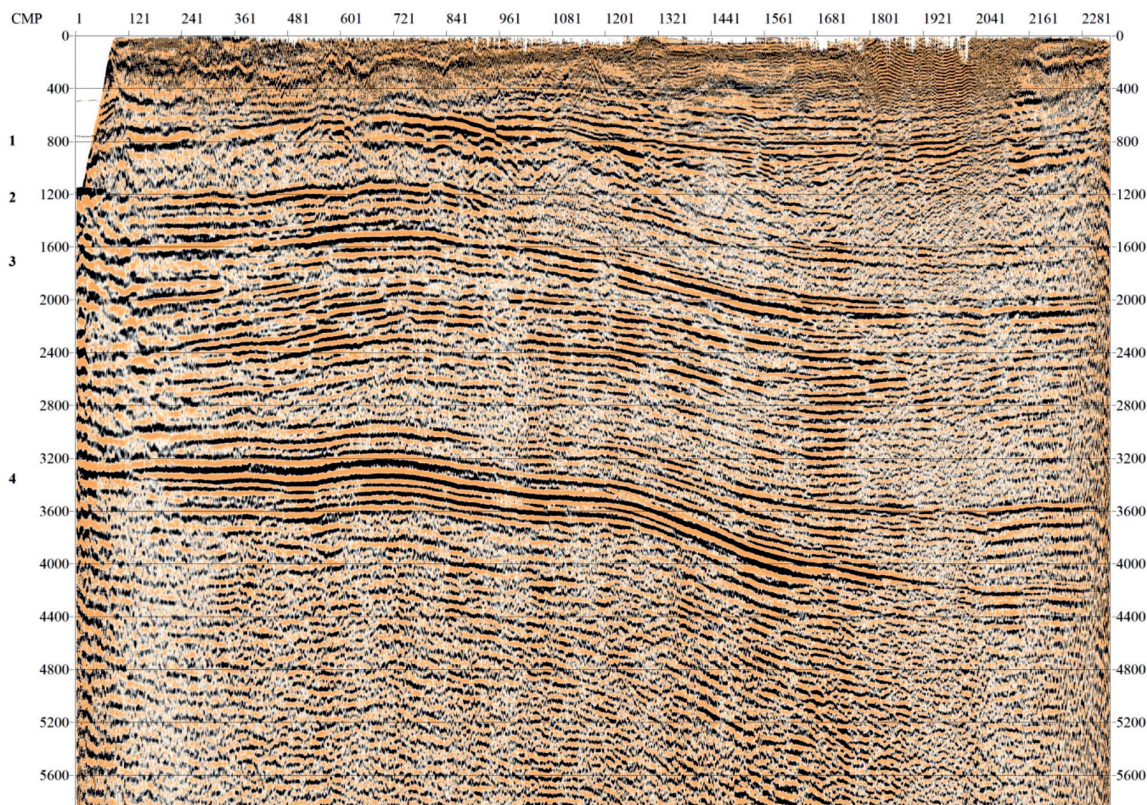


Рис. 7. Предварительный временной разрез (с веденными статическими поправками).
Обобщенная оценка – 0,733

Fig. 7. Brute stack (with statics). Generalized stack quality – 0,733

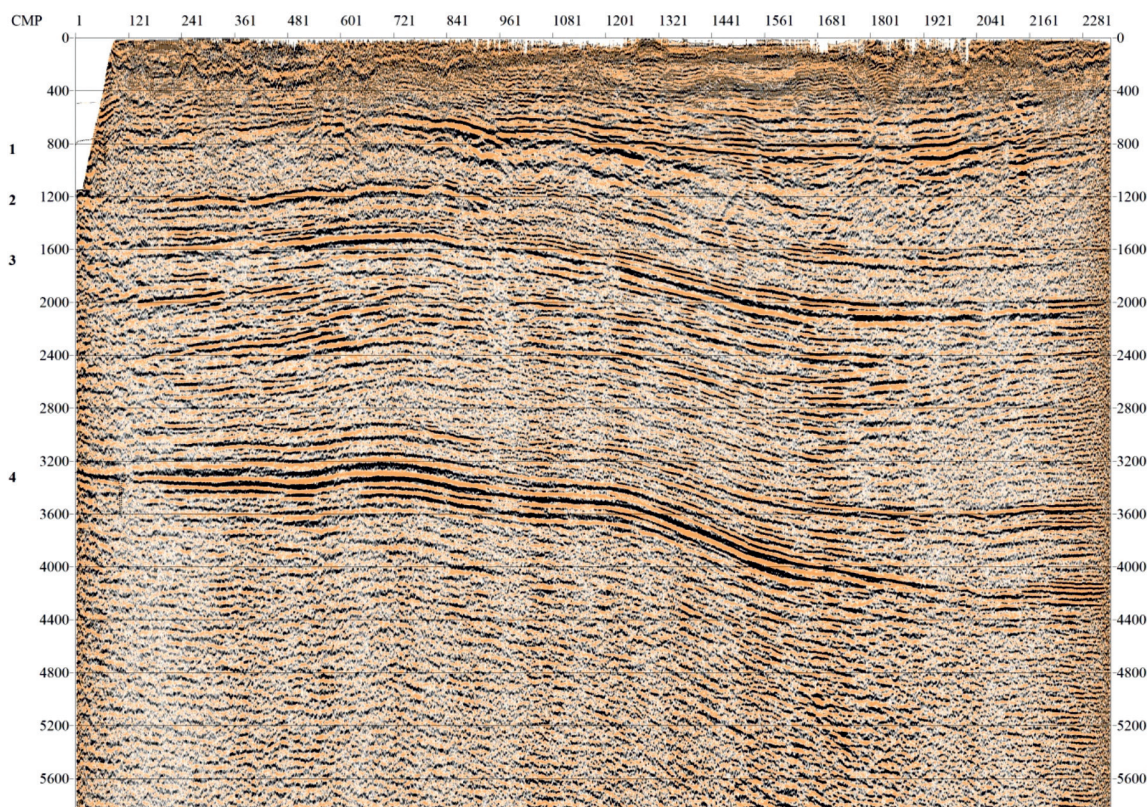


Рис. 8. Предварительный временной разрез (с веденными статическими поправками
и частотной декомпозицией). Обобщенная оценка – 0,754

Fig. 8. Brute stack (with statics and frequency decomposition). Generalized stack quality – 0,754

протяженностью 100 мс, по средним значениям и дисперсиям следующих атрибутов:

- отношение сигнал/помеха;
- эффективная ширина спектра;
- частота максимума спектра;
- среднее значение амплитуд сигналов.

Представленная последовательность модификаций временных разрезов свидетельствует о том, что используемое решение по восстановлению модели ВЧР приводит к заметному улучшению динамической выразительности и прослеживаемости отражающих горизонтов. Процедурой частотной декомпозиции обеспечено повышение разрешенности записи и подавление помех (см. начальные и конечные интервалы пикетов на разрезах). Увеличение значений обобщенных оценок качества по осям синфазности отраженных волн от 0,691 для первой модификации до 0,754 для третьей позволяет прогнозировать, что полученные материалы удовлетворяют условию достаточности, т.е. пригодны к обработке и могут быть использованы для решения поставленных геологических задач.

Рассмотренные аспекты развития методико-технологических средств сопровождения полевых сейсмических работ и представленные решения позволяют заключить, что предлагаемое расширение технологии «SeisCont» обеспечивает комплексную необходимую и достаточную (техническую и содержательную) оценку качества полевых материалов при упрощенном графе выполнения предваритель-

ного этапа обработки. Материалы сопровождения сохраняются в базе данных параметрической информации для последующей обработки полевых материалов. Помимо текущих результатов анализа полевых сейсмограмм база данных содержит: рельеф линии приведения, характеристики ВЧР, значения расчетных статических поправок, маршрут ОСТ (результат бинирования), времена регистрации первых вступлений и опорных отражений, варианты скоростей суммирования и характеристики пластовой глубинно-скоростной модели. В дополнение к ним для последующей обработки могут быть представлены геометризованный набор сейсмограмм (в форматах SEG-Y) и соответствующие ему SPS-файлы.

Ключевые слова: МОГТ-2Д, оценка качества, ВЧР, предварительный сейсмический разрез.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аккуратов О.С., Иксанов А.Я., Каплан С.А., Козлов А.С., Спивак Я.Э. Технология автоматизированной трасс-ориентированной оценки качества сейсмической информации // Геофизика. – 2012. – № 3. – С. 3-12.

REFERENCES

1. Akkuratov O.S., Ixakov A. Y., Kaplan S.A., Kozlov A.S., Spivak Y.E. Track automated quality assessment technology of primary and derived seismic information // Geophysics. 2012. № 3. P. 3-12.