XTomo-LM 3

Система двумерной сейсмической томографии со средствами интерпретации слоистой модели среды

Версия 3.4.1

Руководство пользователя

ХGeo Ltd. Санкт-Петербург Сентябрь 2020 ХТото-LM: Система двумерной сейсмической томографии со средствами интерпретации слоистой модели среды. Версия 3.4.1 (сентябрь 2020). Руководство пользователя.

Издатель: *XGeo Ltd.* Автор: Александр Винник

L

Содержание

Что н	Что нового в версии 3.4? 1				
Что н	Что нового в версии 3.3? 2				
Что н	Что нового в выпуске 3.2.2? 3				
Что н	Что нового в версии 3.2? 4				
Что н	ового в версии 3.1?	8			
Что н	ового в версии 3?	10			
Введе	ение	14			
1	Кинематическая интерпретация	14			
2	ХТото-LM 3: Обзор	17			
3	Волны	18			
4	Модель	19			
5	Данные	22			
6	Числа	24			
7	Программы	26			
Среда	а обработки	27			
1	Схема обработки	27			
2	Менеджер проектов	27			
3	Создание проекта	29			
4	Поддержка проектов	33			
5	Дерево обработки	35			
6	Менеджер волн	39			

7	Спектр скорости 4	
8	Пакеты, архивы, версия 2	44
Моде	ль среды 4	17
1	Изображение модели 4	47
2	Увеличение и выделение	50
3	Экспорт	52
4	Редактирование модели	54
5	Изменение частоты решетки	55
6	Изменение скорости	56
7	Изменение геометрии решетки	60
Набли	юдения б	64
1	Обзор	64
2	SRT-порт: Менеджер	65
3	SRT-порт: Импорт	67
4	SRT-порт: Годографы	69
5	SRT-порт: Архивы. Экспорт	72
6	Каталог лучей: Заполнение	73
7	Каталог лучей: Просмотр 7	76
8	Каталог лучей в М-проекте в	8 0
Пряма	ая задача 8	35
1	Обзор	85
2	Модуль Forward Problem Solver	85
3	Лучевая картина	88

Содержание	111
------------	-----

4	Выборки лучей	92
5	Изучение невязок в І-проекте	94
6	Плотность лучевого покрытия	95
7	Подготовка к томографии	97
8	Экспорт	98
Томог	рафия	100
1	Теория	100
2	Модуль обращения	103
3	Просмотр решения	105
4	Завершение цикла	107
Обрац	цение годографов	108
1	Обзор	108
2	Оределение начальной скорости	108
3	Построение горизонтов	113
4	Отбор годографов	115
5	Построение рефлектора	118
6	Построение рефрактора	122
7	Примеры	123
Утили	ТЫ	128
1	Сравнение скоростей	128
2	Геометрия модели	131
3	Статические поправки	137
Прилс	ржения	139

1	Форматы основных ASCII файлов	139
2	Другие форматы	141

Что нового в версии 3.4?

Новая версия содержит только одно, но очень важное для всей линии продуктов ХGeo дополнение: двусторонний интерфейс между XTomo-LM и приложением XMF — платформой для ручного подбора слоистой модели. Одновременно опубликованная версия XMF 1.1. содержит второй канал этого интерфейса. Он делает группу DPU—XTomo-LM—XMF мощным инструментом двумерной кинематической интерпретации, способной работать с данными, к которым не предъявляются излишние требования по полноте и качеству (такие требования неявно предполагаются алгоритмами обращения XTomo-LM). Теперь проект, начатый в XTomo-LM может быть продолжен в XMF и наоборот, что позволяет комбинировать точные методы XTomo-LM с ручным подбором плохо освещенных данными элементов слоистой модели.

В документации рекомендуется прочитать разделы <u>Кинематическая интерпретация/Расширения</u>, где имеются необходимые ссылки, и <u>Создание проекта/Стартовая модель</u>.

Что нового в версии 3.3?

В версии 3.3. расширены возможности интерпретации *непрофильных* наблюдений, т.е. тех, что в свойствах проекта имеют тип *Other 2D*. В предшествующих версиях такие наблюдения могли быть связаны только с ныряющей волной в непрерывно градиентной модели. Теперь эти ограничения сняты, так что пользователь может решать прямую задачу и выполнять томографическое обращение для произвольной конфигурации источников и приемников при наличии отражающих и/или преломляющих горизонтов, т.е. в слоистой модели. Надо только, чтобы источники и приемники располагались выше исследуемого горизонта. Часть из них (или все) могут, например, располагаться в одной или более скважинах, если задача остается двумерной. Именно случай скважинных наблюдений и был целью последних изменений. Понятно, что средства обращения годографов, разработанные для профильных наблюдений, в данном случае неприменимы и остаются недоступными в пользовательском интерфейсе.

Основное назначение этого выпуска – исправление ряда ошибок в пользовательском интерфейсе, обнаруженных с момента выхода в сентябре 2017 версии 3.2. Помимо этого, введены некоторые улучшения и добавления, в частности, следующие:

1. При сравнении двух скоростей пользователь может изучать (1) карты разностей и (2) кривые вертикальных профилей на одном планшете. Последняя возможность добавлена в новом выпуске. Она используется модулем Inverse Problem Solution Viewer и утилитой Velocity Comparator (UVC).

2. Утилита UVC может теперь применяться для сравнения двух произвольных скоростей, а не только близких друг к другу и непостоянных, как раньше. Кроме того, программа выводит теперь две карты: абсолютной и относительной разности скоростей. Упрощен пользовательский интерфейс.

3. Модуль Velocity Spectrum Manager оборудован новым инструментом для быстрого построения цветового спектра скорости. Он позволяет создавать существенно более широкое множество спектров, чем прежний.

4. В головную программу Program Manager добавлена возможность вести для каждого проекта текстовый комментарий в ходе обработки. Диалог комментария вызывается командой главного меню *Project*/*User Notes*. Начало комментария может выводится в окне подсказки при наведении курсора на элемент списка проектов. Чтобы активировать эту возможность, используйте команду-переключатель *Working Folder*/ *Show Notes as Hint*.

Что нового в версии 3.2?

Существенные изменения в последней версии продукта касаются (1) просмотра и редактирования модели, (2) среды обработки и (3) обращения систем годографов. Во всех направлениях произошло расширение функциональности или повышение эффективности параллельно с повышением комфортности работы. Исправлены все замеченные ошибки и погрешности.

1. Сравнение скоростей

4

Новая утилита <u>Velocity Comparator</u> позволяет сравнивать двумерные распределения скорости из любых двух m-узлов Дерева обработки, принадлежащим любым двум проектам XTomo-LM 3. Сравнение скоростей осуществляется в узлах ортогональной решетки в общей для обеих моделей прямоугольной области. Разность скоростей в узлах решетки выводится в виде цветовой карты и в числовом виде. Средние и экстремальные значения разности выводятся для любой подрешетки. С помощью утилиты пользователь может визуально отслеживать изменения скорости в ходе обработки.

2. Редактирование скорости

2.1. Редактирование скорости "на месте". Для изменения скорости в Model Editor пользователь выделяет подрешетку и вызывает диалог *Editing Velocity*. В версии 3.2. в диалог добавлена новая опция, позволяющая задавать скорость в вертикальной полосе как степенную функцию глубины. Такая аппроксимация скорости часто используется при моделировании. Для сложных распределений скорости редактирование через диалог, как минимум, не комфортно. Так, чтобы изменить скорость на множестве изолированных ячеек, приходится вызывать диалог для каждой ячейки, используя только одну его функцию. В новой версии введен инструмент Velocity in-place editor, который реализует типичные функции редактирования из маленького окна, плавающего по изображению модели. Такой редактор позволяет, когда нужно, переключаться в главное окно программы и работать с изображением, например, увеличивать его или изменять выделенную область, или просматривать границы изменения и среднее значение скорости в подобластях модели. Последняя возможность добавлена в версии 3.2. Добавлена также опция выделения подрешетки в диалоге путем задания границ области выделения.

2.2. Замена скорости в модели. При деформациях решетки скорость остается привязанной к ее ячейкам, а не к глубине. Функция замены скорости предназначалась для восстановления зависимости скорости от глубины, если это необходимо. Она позволяла пересчитать скорость из другого m-узла на текущую решетку с теми же вертикалями. В версии 3.2 функция замены скорости расширена. Во-первых, сняты ограничения на решетку. Во-вторых, в качестве источника скорости может фигурировать VC-файл (набор скоростных колонок). В обоих случаях скорость в источнике замены пересчитывается на текущую решетку посредством интерполяции. Второй случай важен при построении начальной скорости путем обращения системы годографов ныряющей волны. Результат обращения сохраняется как раз в VC-файле. В версии 3.1. его можно было использовать только для создания стартовой модели в *новом* проекте. Теперь его можно использовать в качестве источника для замены скорости в любом m-узле текущего проекта.

2.3. Копирование скорости. Распределение скорости в выделенной области модели может быть скопировано в область того же вида в другом месте модели. Положение целевой подрешетки указывается пользователем путем двойного щелчка по ячейке, представляющей подрешетку. Точные указания даются при выполнении операции. Команда копирования помещена в контекстное меню изображения модели.

2.4. Устранение "черных ячеек". Так называются ячейки решетки, значения скорости в которых выходят за пределы, зафиксированные в свойствах проектах и Менеджере спектра. Они, действительно, окрашены

черным. При редактировании скорости выход за указанные пределы блокирован: выходящие за пределы значения заменяются предельными, но он возможен при вводе скорости из внешних источников, как в п. 2.3 или после томографического уточнения. Черные ячейки должны быть устранены, их наличие является ошибкой данных. Сделать это можно двумя путями: либо расширить допустимый диапазон в Менеджере спектра скорости, либо воспользоваться новой командой Model Editor *Remove black cells* в меню *Edit*.

2.5. Профили скорости. Скоростные колонки. При выводе профилей скорости (вертикального и горизонтального) в графических модулях использовалось представление V(*, z) и V(x, *) в виде кусочно линейной функции. Теперь пользователь может выбрать между двумя представлениями: кусочно-линейным и ступенчатым. Переключатель расположен в контекстном меню планшета профиля. Не только профиль скорости, но и любая скоростная колонка допускает двоякую трактовку. В новой версии во всех задачах, где скорость формируется путем импорта скоростных колонок, пользователь может выбрать способ трактовки колонки как ступенчатой или как кусочно-линейной функции. (Ступенчатая функция моделирует пачку слоев на полупространстве, кусочно-линейная — непрерывное распределение скорости.)

3. Редактирование геометрии модели

ХТото-LM работает с криволинейной решеткой. Изменение ее геометрии связано с изменением конфигурации одной или нескольких h-линий, например, тех, что представляют сейсмические горизонты. Набор кривых, определяющих геометрию решетки, называется *каркасом модели* (model wireframe). Каркас модели хранится в текстовом файле формата MG (model geometry). При создании проекта стартовая модель может быть создана путем импорта каркаса модели, однако адекватного средства создания каркаса в прежних версиях не было. Новая утилита редактирования MG-файлов (MG File Editor, <u>UMG</u>) решает все вопросы, относящиеся к созданию и редактированию каркасов и отдельных кривых. Быстрое создание и редактирование – важная часть моделирования. Команда вызова UMG находится в меню *Tools* Менеджера проектов.

4. Пользовательский интерфейс Model Editor

Несмотря на расширение функциональности, пользовательский интерфейс модуля Model Editor значительно упрощен. Исключены, по сути, дублирующие команды, относящиеся к верхней границе модели и сейсмическим горизонтам. Объект операции теперь определяется автоматически. В качестве средства редактирования и импорта h-линий в новой версии выступает утилита UMG, работающая в особом режиме. Так обеспечивается единый интерфейс работы с геометрией решетки. Для пользователя вызов UMG не заметен.

5. Среда обработки

5.1. Создание проектов. Теперь оно выполняется отдельным модулем New Project Constructor (NPC). Он уменьшает нагрузку на Менеджер проектов, лучше и быстрее справляется с созданием стартовой модели. Главное окно модуля отличается от прежнего диалога новым способом описания представления чисел (см. п. 5.2).

5.2. Пространственное разрешение и числовые форматы. В новой версии упрощен подход к представлению приближенных чисел. Пространственная различимость объектов регулируется величиной *разрешения*, которая определяется размерами стартовой модели и точностью представления действительных чисел в оперативной памяти. Разрешение определяет число значащих цифр в десятичных представлениях числовых данных, а значит, и числовые форматы. Понятия вычислительного и физического разрешений больше не используются. За пользователем сохранена возможность изменения форматов, предлагаемых по умолчанию, в сторону уменьшения точности, но надобности в этом нет. Старые проекты гладко вписываются в новую концепцию (см. <u>Числа</u>).

5

5.3. Просмотр моделей других проектов. В прежних версиях пользователь мог одновременно просматривать модели в любых m-yзлах открытого проекта (команда View Model в меню Дерева обработки). Начиная с версии 3.2. в меню *Tools* включена команда View Model From..., которая позволяет вывести на экран модель из любого m-yзла проекта, выделенного в списке проектов. Подробности <u>здесь</u>. Сопоставление моделей и сравнение скоростей (см. п. 1) разных проектов особенно важно для разных проектов, созданных для одних и тех же данных.

5.4. Копирование о-узла Дерева обработки. В новой версии двухшаговая операция копирования содержимого узла Observation ("копировать-вставить") может быть выполнена путем перетаскивания мышью иконки о-узла на целевой m-узел.

В реализации этой операции в прежних версиях обнаружена редкая и очень специальная ошибка. Допустим, что в данном проекте модель имеет криволинейную верхнюю границу **T**. Пусть о-узел O_1 , созданный для модели M_1 , требуется скопировать в m-узел M_2 . Пусть в точке пересечения вертикали V с верхней границей модели M_1 расположен приемник R. Допустим, что перед копированием O_1 в модели M_2 вертикаль V удалена. Тогда после копирования приемник R может оказаться висящим над **T**. Действительно, если V' и V'' – соседние с V вертикали, то новый отрезок **T** между V' и V'' может оказать как выше, так и ниже прежнего сегмента [V', V, V'']. Следствием "зависания" приемника над **T** будет отсутствие в решении прямой задачи всех лучей, приходящих в R. В новой версии этот недостаток устранен: "висящие" источники и приемники принудительно "сажаются" на дневную поверхность с разрешения пользователя (детали <u>здесь</u>).

5.5. Список активных модулей. Этот список изъят из главного окна Менеджера проектов и вызывается в отдельном окне командой меню *Tools*. В нем указываются *первичные модули*, работающие в данный момент, т.е. те, что запущены непосредственно Менеджером проектов. Описание модулей улучшено, функциональность сохранена. В частности, можно закрыть активный модуль или принудительно завершить его в случае "зависания". Это изменение вызвано технической необходимостью.

5.6. Новая функция SRT-порта. В новой версии порт можно использовать для обмена данными наблюдений между разными проектами. Новая команда меню Дерева обработки позволяет скопировать содержимое Каталога лучей из о- или f-узла в новую базу данных SRT-порта. Затем ее можно использовать в любом проекте в качестве источника данных наблюдений. Кроме того, портовое хранилище теперь является двухуровневым: оно состоит из складов, в которых лежат базы SRT-данных. Существующие базы данных оказываются в особом складе с именем .*Main*. Новые склады создаются пользователем по мере необходимости.

В предшествующих версиях при создании Каталога лучей в М-проекте пользователь мог выбрать портовую базу данных любого типа. Это ошибочная опция: источником наблюдений для М-проекта может быть только база данных типа SR.

6. Обращение годографов отраженных и рефрагированных волн

В новой версии использованы последние варианты алгоритмов обращения, отличающиеся большей устойчивостью и эффективностью. Устранены обнаруженные в них ошибки. Добавлен модуль грубой оценки положения рефлектора по вертикальным лучам в точках постановки источников. Примеры построения горизонтов теперь поставляются в виде набора проектов-образцов (см. ниже).

7. Проекты-примеры и документация

Продукт поставляется с проектами-образцами. Их цель – продемонстрировать работу с XTomo-LM в целом и при решении некоторых задач интерпретации слоистой модели, в частности. В проектах-примерах систематически используются некоторые из инструментов, впервые добавленных в версии 3.2. Узлы дерева обработки каждого проекта содержат поясняющие комментарии. Информация об установке

7

примеров, описание задач, для решения которых они созданы, и описание способа решения содержатся в документации, в разделе Примеры главы Обращение годографов.

Документация приведена в соответствие с состоянием программного обеспечения. Многие разделы переработаны в большей или меньшей степени. В ходе работы над версией 3.2 были уточнены некоторые из базовых концепций продукта, поэтому пользователям рекомендуется просмотреть главы *Введение, Модель, Обращение годографов, Утилиты,* а также разделы *Создание проектов, Дерево обработки, Каталог лучей: Заполнение.* Глава *Обращение годографов* написана заново и соответствует последним версиям алгоритмов.

Что нового в версии 3.1?

Новая версия XTomo-LM содержит два важных новшества и целый ряд мелких изменений, оптимизирующих интерфейс пользователя.

SRT-Port

Первое новшество относится к архитектуре системы. Новый компонент *SRT-nopm* (SR Port) служит теперь единственной точкой ввода в систему и верификации текстовых файлов наблюдений как для проектов обращения, так и для проектов моделирования. В качестве файлов наблюдений допустимы файлы форматов SRT, #DT, SR, S+R. Из XTomo-LM исключены все так называемые SRT-утилиты и временная база SRT-данных, которая перезаписывалась при каждом новом использовании. Вместо нее SRT-порт поддерживает постоянное хранилище данных (портовый склад), в котором верифицированное содержимое входных файлов хранится во внутреннем формате, готовое для многократного использования. Содержимое одного файла образует единицу хранения и использует прежнее название: *база SRT данных*. Функции прежних утилит, во многом повторяющиеся, переданы модулю SRT Port Manager, который реализует ввод и верификацию файлов наблюдений и выполняет обслуживание склада вплоть до создания архивных файлов.

SRT-порт является автономным компонентом системы. Он не связан ни с общими папками, ни с проектами. Его цель – изолировать технические задачи обработки входных файлов от основного графа обработки. Теперь в графе обработки нет импорта файлов наблюдений. Вместо него появилась операция извлечения данных наблюдений из SRT-порта. "Извлечение" не сводится к копированию складской базы данных. Оно позволяет извлекать из базы выборку по сложному критерию. Это важно, поскольку обычно разные обратные задачи и разные задачи моделирования используют разные подмножества входных данных. Отсутствие возможности извлекать выборки входных данных в предшествующих версиях заставляло пользователя все время модифицировать входные файлы, приспосабливая их к конкретным задачам. В большой степени снята проблема несоответствия файлов наблюдений величине пространственного разрешения, установленного при создании проекта и связанного, в первую очередь, с моделью среды.

Сведения о новом компоненте и его использовании при обработке можно найти в разделах Введение/Данные, и в первых пяти разделах главы <u>Наблюдения</u>.

Обратная задача для годографов ныряющей волны

Второе новшество – это новая обратная задача для годографов ныряющей волны, полученных при профильных наблюдениях. Основная цель обращения годографов – построение хорошего начального приближения для томографии. Утилита Primary Model Builder исключена из системы. Эта утилита использовала в качестве основы прямой метод обращения Герглотца-Вихерта-Чибисова, который практически не применим из-за условий, которые накладываются на наблюденный годограф – строгая вогнутость. Даже у теоретического годографа кривизна стремиться к нулю с ростом удаления, поэтому такой подход обречен на численную неустойчивость. Новая версия ХТото-LM содержит корректную постановку задачи обращения годографа и реализацию устойчивого алгоритма ее решения. Применяя его к системе годографов ныряющей волны, можно получить хорошее приближение для двумерной томографии путем композиции решений одномерных задач обращения годографов. Описание нового модуля обращения помещено в раздел <u>Обращение годографов/Определение начальной скорости</u>.

Другие изменения

В пользовательском интерфейсе и документации подчеркнуто наличие двух типов обратных задач: томографии и обращения годографов. В частности, изменило свой вид главное операционное меню системы – меню Дерева обработки. Теперь команды, связанные с задачами обращения годографов при профильных наблюдениях, собраны в подменю *TX-curve inversion*. Введен новый термин <u>стартовая модель</u>: это модель с которой создается новый проект. Из других изменений отметим добавление новой <u>общей</u> <u>папки</u>: *общей папки импорта-экспорта* в качестве контейнера для папок импорта-экспорта проектов. Ее появление никак не нарушит доступность к существующим данным и упростит организацию данных в новых проектах.

Что нового в версии 3?

Со времени выхода первой версии программное обеспечение использовалось для обработки данных ГСЗ, МОГТ (изучение верхней части разреза), скважинного просвечивания, различных инженерногеологических изысканий и даже для мониторинга состояния архитектурных памятников. Оригинальные способ представления модели и алгоритм трассировки лучей делает ХТото-LM 3 удобным, хорошо масштабируемым инструментом для самых разных задач. Версия 3 обеспечивает дальнейшую жизнь продукта в современной аппаратной и операционной среде (многоядерные процессоры и последние версии Windows) с полным использованием всех ее преимуществ.

Выпуски 3.0.X с X > 1 представляют XTomo-LM 3 в полном объеме. Предварительный выпуск 3.0.1 был "экстренным" и имел целью как можно быстрее помочь пользователям версии 2, которые столкнулись с проблемами эксплуатации в среде Windows последних версий. Внешний дизайн продукта сохранен, как и базовая функциональность: поддержка проектов, редактирование модели, прямая задача, обратная задача томографии, построение сейсмических горизонтов. Но *реализация* базовых и сервисных функций является совершенно новой. Она обеспечивает достижение следующих целей:

- полная совместимость XTomo-LM с последними версиями Windows;
- новая архитектура хранения данных;
- повышение производительности;
- внедрение новых алгоритмов решения базовых задач;
- более быстрый и комфортный интерфейс пользователя.

Ниже перечислены только главные новшества.

1. Новая архитектура хранения данных

Именно архитектура хранения данных, в частности, использование устаревших продуктов сторонних производителей, явилась причиной низкой производительности решения прямой задачи и упомянутых выше проблем эксплуатации. В версии 3 эти недостатки полностью устранены благодаря применению новой концепции хранения данных. Модернизация позволила существенно увеличить эффективность системы как при тяжелых вычислениях, так и при визуализации больших объемов данных.

2. Эффективность решения прямой задачи

В версии 3 трассировка лучей организована по-новому и частично распараллелена. Новый алгоритм учитывает возможности современных процессоров Intel и является масштабируемым: эффективность зависит от числа логических процессоров в системе. В следующем примере лучи проходящей, отраженной и преломленной волн трассировались на решетке размером 896 x 160 (143360 ячеек). Схема наблюдений включала 101 источник и 201 приемник, суммарное число лучей по всем волнам – 60903. В таблице показано чистое время счета T (мин:сек) в зависимости от числа задействованных логических процессоров N.

Ν	1	2	4	8
Т	38:27	32:30	17:11	9:01

Вычисления проводились на рабочей станции с процессором Intel Core i7 3.4 GHz с 8 логическими процессорами. Использование центрального процессора большую часть времени составляло 95–100%. Значение Т при N = 1 приблизительно соответствуют времени счета в версии 2.

3. Редактирование модели

Набор инструментов редактирования модели в прежних версиях был далек от оптимального, а его применение зачастую неудобным. В новой версии функциональность редактора жестко связана с концепцией представления модели в ХТото-LМ. Редактор модели позволяет изменять (1) густоту решетки, (2) величину скорости и (3) геометрию модели. Первые 2 задачи решаются, в основном, так же как в версии 2. Добавлена функция явного сглаживания скорости. Геометрия модели определяется формой h-линий. Поэтому в редактор модели версии 3 встроен редактор кривых, позволяющий очень быстро придать линии нужную форму. Перестройка решетки, вызванная изменением формы h-линии, происходит мгновенно и без участия пользователя. То же относится к импорту h-линии (горизонта) из файла. По сравнению с версией 2, изменение геометрии стало простой и быстрой операцией. В редакторе версии 3 поддерживается стек отката операций. Кнопки "Вперед" и "Назад" позволяют отменять/возвращать последние изменения.

4. Новые алгоритмы обращения годографов отраженных и головных волн

Хотя построение сейсмических горизонтов было включено в версию 2, предлагавшиеся средства носили явно предварительный характер, перекладывая на пользователя задачу выбора кривой из так называемого множества допустимых точек. Версия 3 использует новые высокопроизводительные алгоритмы кинематической миграции, требующие от пользователя минимального объема априорной информации и числа параметров. Результатом выполнения алгоритма является кривая, представляющая горизонт, точки которой лежат в узлах решетки. Результат можно сразу просмотреть на изображении модели для оценки адекватности. Точность построения обусловлена густотой решетки и, конечно, зависит от условий регулярности годографов и распределения скорости. Подобно решению прямой задачи, эти алгоритмы распараллелены по логическим процессоров системы, обеспечивая тем меньшее время счета, чем больше доступно логических процессоров в системе. Построение сейсмических границ стало, наряду с прямой задачей и томографическим обращением, важнейшим инструментом ХТото-LM. В документацию включены разделы с примерами применения новых алгоритмов, наглядно иллюстрирующие возможности использования криволинейной решетки для представления слоистой модели.

5. Томография на выборках лучей

Для качественного обращения важно, чтобы невязки наблюденных и расчетных времен пробега по лучам лежали в достаточно узком диапазоне (принцип равноточности измерений). Хотя формально на вход обратной задачи можно подать любую смесь лучей, невозможно эффективно минимизировать большие и маленькие невязки одновременно: ведь минимизируется их среднеквадратическое значение.

Предыдущие версии XTomo-LM не имели средств отбора лучей для обращения: в ход шли все трассированные лучи. В версии 3 пользователь может получить выборку лучей из решения прямой задачи по сложному критерию (набор источников и приемников, тип волны и удаления, величина невязок) и подать ее на вход обратной задачи. Решив один раз затратную по времени прямую задачу, можно провести целый ряд обращений, уточняющих скорость в разных в областях модели. Скажем, для скорости в первом слое можно использовать лучи отраженной волны с малыми удалениями, а для глубинной части разреза — лучи проходящей волны с большими удалениями и лучи головной волны (или закритические отражения) от глубокого горизонта. При этом оценки точности построения модели будут разными для разных интервалов разреза.

11

6. Моделирование обменных волн

12

В версии 3 существенно расширены возможности моделирования обменных волн. Во-первых, для обменных волн зарезервирован широкий диапазон кодов без нарушения прежней системы кодирования волн. Во-вторых, при моделировании отраженных волн в слоистой среде можно задавать произвольные наборы коэффициентов конверсии на границах раздела для падающей и отраженной волны.

7. Анализ решения прямой задачи

Важные изменения внесены в модуль просмотра решения прямой задачи. Расчетные годографы можно теперь рассматривать в отдельном от модели окне. По требованию, это окно можно пристыковать к изображению модели с лучами. Окна можно синхронизировать при увеличении изображения. Специальные меры приняты для изображения очень большого (десятки тысяч) числа лучей, в частности процесс рисовки можно прерывать. Можно просматривать карты плотности лучевого покрытия и экспортировать их в графический файл. Сделана более удобной операция замораживания скорости в подобласти модели, необходимая для последовательного изучения разреза. В частности, можно фиксировать скорость в ячейках с определенной плотностью лучевого покрытия.

8. Анализ SRT-файлов

Входные данные для проектов обращения (I-проектов) поставляются в виде файлов формата SRT. В предыдущих версиях проверка SRT-файлов не была исчерпывающей, что приводило к трудно обнаруживаемым ошибкам при обработке. Кроме того, проверка проводилась до первой ошибки. В версии 3 контролю SRT-файлов уделено специальное внимание. При импорте данных SRT проводится полный анализ данных с выявлением всех ошибок, которые перечисляются в файле-протоколе. Предварительная обработка SRT-утилитами теперь начинается с новой утилиты SRT Checker, осуществляющей полный анализ файла и, по требованию, сохраняющей данные во внутреннем формате для последующей работы. Для профильных наблюдений предназначена новая утилита просмотра SRT-файлов в виде годографов и их редактирования. SRT-файл, поставляемый внешним программным обеспечением, может быть разбит на части, отвечающие специальным задачам, путем оперирования с изображением системы годографов исходного SRT-файла.

9. Пакеты и архивы

В практике использования XTomo-LM нередки случаи, когда обработка одних и тех же материалов ведется на двух площадках, например, на борту судна и в центре обработки. Для оперативного обмена данными в такой ситуации не было предусмотрено специальных средств. В версии 3 они появились. Если выделить узел в Дереве обработки Менеджера проектов и подать необходимую команду, программа упакует ветвь дерева, заканчивающуюся выделенным узлом и всю инфраструктуру проекта (волны, спектр скорости и пр.) в файл, называемый пакетом. Он может быть размещен на сайте или переслан по электронной почте. Другая команда программы превращает пакет в новый проект, в котором Дерево обработки состоит из ветви, содержащейся в пакете.

Помимо этого, Менеджер проектов может упаковать в архивный файл весь проект и распаковать его при необходимости. Пользователь может управлять степенью сжатия архивного файла.

10. Разное

Среди прочих изменений отметим следующие:

Менеджер проектов (МП). При создании проекта можно в качестве стартовой модели взять модель из любого корневого узла Дерева обработки любого проекта версии 3. МП управляет теперь спектром цветов для изображения скорости в графических модулях. Спектр входит в инфраструктуру проекта. В Дереве обработки поддерживаются виртуальные f-узлы для хранения выборок лучей, поступающих на вход решения обратной задачи томографии.

Графические модули в новой версии отображают вертикальный и горизонтальный профили скорости во время перемещения курсора над моделью. Введены быстрые клавиши выделения рядов и колонок решетки. Добавлена возможность прокрутки изображения путем перетаскивания.

Редактор систем наблюдений в М-проектах. Добавлены команды создания расстановки вдоль h-линии или вертикали.

Модуль просмотра решения обратной задачи томографии. Выводится карта относительных поправок к начальной скорости. Она может быть экспортирована в графический файл.

11. ХТото-LМ версий 2 и 3

Поскольку структура и форматы хранения данных изменились, XTomo-LM 3 не может открыть проект, созданный в версии 2. Однако исходные данные любого шага обработки, т.е. содержимое узлов Model и Observations из проекта версии 2, могут быть конвертированы с образованием нового проекта версии 3. Эта операция запускается одной из команд Менеджера проектов.

В отличие от предыдущих обновлений, XTomo-LM 3 может быть установлена на рабочей станции наряду с XTomo-LM 2.x, а не вместо нее.

Версия 2 ХТото-LM могла использоваться с пакетом подготовки данных (Data Preparation Unit, DPU). Система DPU 2 обеспечивает считывание времен вступлений с полевых сейсмограмм и создание входных SRT-файлов для XTomo-LM 2. В этом своем качестве, а также для решения задачи о вводе статики DPU 2 может использоваться совместно с XTomo-LM 3. Однако, вывод решения прямой задачи XTomo-LM 3 на сейсмограммы ОПВ возможен только в DPU3.

Введение

1 Кинематическая интерпретация

<u>Терминология и проблематика</u> – <u>Математическое описание</u> – <u>Обратная задача томографии</u> -<u>Последовательные приближения</u> – <u>Обращение годографов</u> – <u>Расширения</u>.

Терминология и проблематика

Кинематическая интерпретация принадлежит к классу задач интерпретации данных физического эксперимента. В нашем случае эксперимент – это полевые сейсмические наблюдения, данные – времена пробега сейсмических волн, считанные с сейсмических записей, интерпретация – определение двумерной модели среды в классах допустимых моделей: градиентной и слоистой. Среда распространения волн считается изотропной. В первом случае модель описывается распределением скорости V(x, z), во втором – распределением скорости и уравнениями горизонтов. Универсальное средство решения задача такого рода – моделирование, в нашем случае – кинематическое моделирование распространения волн в изотропной среде. Задача моделирования или *прямая кинематическая задача* заключается в трассировке лучей волн разных типов для заданной модели среды и заданной системы наблюдений и в расчете времен пробега по лучам. Метод кинематической интерпретации – подбор модели среды по критерию минимальности невязок между наблюденными и расчетными временами пробега волн. Основной инструмент подбора – программные средства моделирования. Наряду с термином "кинематическая интерпретация", используются термины *решение обратной кинематической задачи* или *обращение времен пробега сейсмических волн*.

Общая обратная задача для слоистой среды не рассматривается. Однако средства XTomo-LM решения обратных задач для градиентной среды и для построения отражающих и преломляющих горизонтов, наряду с принципом послойной интерпретации, позволяют изучать слоистые среды, по крайней мере, в рамках эмпирического подхода.

Математическое описание

Здесь для простоты ограничимся случаем градиентной модели. Пусть T^* – вектор наблюденных времен размерности n (векторы и матрицы обозначаем жирным шрифтом). Пусть $F: V \rightarrow T$ – оператор решения прямой задачи. Он сопоставляет распределению скорости V вектор расчетных времен **T**. В символьном виде задача интерпретации может быть записана так:

(1)
$$|\mathbf{T}^* - \mathbf{F}(\mathbf{V})|_n \rightarrow \min$$
.

Здесь через **|X|**_к обозначена норма (длина) вектора размерности к. Понятно, что в такой постановке задача вряд ли имеет смысл. Наблюденные времена дают слишком мало информации для оценки распределения скорости. Однако, в распоряжении интерпретатора всегда имеется значительный объем геологических и геофизических данных. Эти, пусть и не формализованные, сведения позволяют сформировать гипотезу о *начальном приближении* к искомой модели. Обозначим ее через V₀. Теперь можно переформулировать задачу (1) в более реалистичной форме, а именно как задачу об уточнении модели: требуется определить поправки V как решение задачи минимизации (2) $|\mathbf{T}^* - \mathbf{F}(\mathbf{V}_0 + \Delta \mathbf{V})|_n \rightarrow \min.$

Задачи (1) и (2) различаются принципиально. В (1) относительно V нет никакой информации; в (2) значительная, может быть, большая, часть этой информации содержится в V₀. Обозначим через Δ **T** вектор невязок во временах между наблюденными временами и расчетными временами в прямой задаче для модели V₀: Δ **T** = **T**^{*} - **F**(V₀). Можно, изучив невязки Δ **T** и используя профессиональные навыки и интуицию,

изменить модель "вручную" и, решив прямую задачу, снова изучить невязки. Если они уменьшились, можно продолжать изменение модели в том же направлении, реализуя *ручной подбор* модели. Мы говорим о ручном подборе в том смысле, что он не использует запрограммированные алгоритмы обращения. Чуть подробнее об этом — в конце раздела. Отметим, что в соотношениях (1) и (2) ради простоты не указана зависимость **F** от сейсмических горизонтов.

Обратная задача томографии

Задачу (2) можно решить более эффективно, если предположить, что поправки _QV достаточно малы. Поскольку речь идет о цифровых моделях, V задается в конечном числе точек, т.е. является вектором, как и _QV. Используя стандартный подход, принятый в дифференциальном исчислении, заменим оператор прямой задачи в (2) его линейным приближением:

 $\mathbf{F}(\mathbf{V}_{0} + \Delta \mathbf{V}) \approx \mathbf{F}(\mathbf{V}_{0}) + \mathbf{D} \cdot \Delta \mathbf{V}.$

Здесь **D** — матрица, составленная из частных производных компонент вектора **F**, вычисленных при значении аргумента V_0 . Задача (2) примет вид

(3)
$$|\Delta \mathbf{T} - \mathbf{D} \cdot \Delta \mathbf{V}||_n \rightarrow \text{min.}$$

Задача (3) относительно поправок **ДV** принадлежит к изученному классу математических задач. Это линейная задача метода наименьших квадратов. И хотя она все еще не является корректной, известны методы ее *регуляризации* (все термины будут в своем месте разъяснены). Подход к интерпретации, основанный на редукции общей задачи (2) к задаче (3), составляет содержание *сейсмической томографии на временах пробега*, а задача (3) называется *обратной задачей томографии*. Термин томографии на временах пробега, а задача (3) называется обратной задачей томографии. Термин томография на первых вступлениях является частным случаем, связанным со специальным приемом отождествления событий на сейсмических записях. Сейсмическая томография (как она реализована в ХТото-LM) не привязана к какому-либо специальному типу волн. Наблюдения любых волн – непрерывно рефрагированных, отраженных, головных – могут быть использованы для решения задачи определения скоростного разреза.

Последовательные приближения

Независимо от того, используется ли ручной подбор модели или применяется томография, интерпретация предполагает последовательные приближения к результату. Это многошаговый процесс. В случае ручного подбора это очевидно. Главное предположение томографии о малости поправок ΔV позволяет лишь незначительно изменить начальное приближение V_0 , но уточненное значение может быть принято за новое начальное приближение, и процедура может повторяться, пока невязки времен не станут достаточно малыми. Принцип последовательных приближений является базовым подходом к любым задачам интерпретации. Программное обеспечение должно обеспечивать не только математический инструментарий, но и реализацию принципа последовательных приближений в интерфейсе пользователя и динамических структурах данных.

Обращение годографов

ХТото-LM 3 включает обратные задачи, возникающие при профильных наблюдениях. В этом случае времена пробега волн можно рассматривать не только изолированно, но и извлекать дополнительную

информацию из совокупности упорядоченных последовательностей времен, иными словами, из годографов сейсмических волн. Этот класс обратных задач можно назвать *обращением годографов*.

В глубинной сейсморазведке почти всегда наблюдается *ныряющая* волна. Так называют непрерывно рефрагированную волну, лучи которой от источников вблизи дневной поверхности возвращаются к ней вследствие рефракции, обусловленной возрастанием скорости с глубиной. Обратная задача для системы годографов ныряющей волны позволяет оптимальным образом подобрать модель V(x, z) в классе функций, убывающих по z при каждом x (ось Z направлена вертикально вверх). Полученное распределение скорости может служить хорошим начальным приближением для задачи томографии.

Еще две обратные задачи связаны с восстановлением сейсмических горизонтов по годографам отраженных и головных волн при известном распределении скорости в покрывающей среде. Решение таких задач основано на эволюционном уравнении распространения сейсмических волн. Из соответствующей теории используется только кинематическая составляющая: уравнение эйконала T(x, z) для времени пробега волны. Согласно теории, если известен след поля времен T(x, z) на кривой *L* в момент времени t₀, то можно восстановить значения T(x, z) при t > t₀ и t < t₀ в рамках лучевого приближения.

Обратное (т.е. для t < t₀) продолжение поля времен с линии наблюдения называется *миграцией*. Сопоставляя время пробега падающей волны с мигрированным полем времен отраженной (головной) волны, можно найти конфигурацию отражателя (рефрактора).

Хотя первая из задач обращения годографов относится к градиентной модели, а две другие – к слоистой, они объединены под общей рубрикой по причинам технического характера: в их реализации структура данных "годограф" является общей.

Расширения

16

XTomo-LM имеет главной целью представить реализацию алгоритмов обращения, упомянутых выше. Однако, для успешного применения в сейсмической практике необходимо иметь ответы на следующие вопросы: 1) получение входных данных и 2) возможность ручного подбора модели. Обе проблемы нашли адекватное решение в продуктах XGeo.

1. Входные данные. Входными данными для XTomo-LM служат времена пробега сейсмических волн, поставляемые в текстовых файлах формата SRT (см. <u>Введение/Данные</u>). Но эти данные являются вторичными. Исходными данными, полученными в ходе полевых работ, являются сейсмические записи, которые в двумерном случае обычно организованы в сейсмограммы общего пункта возбуждения. Чтобы пройти путь от набора профильных сейсмограмм к SRT-файлам, нужен подходящий программный инструмент. Таковым является <u>Система подготовки данных</u> (Data Preparation Unit, DPU), поставляемая как отдельный продукт. Основное его назначение – считывание времен вступления волн с сейсмограмм и формирование SRT-файлов.

2. Ручной подбор слоистой модели. Как бы полезны ни были алгоритмы ХТото-LM, успех во многом зависит от качества и полноты входных данных. В случае слоистой модели ситуация, когда только некоторые компоненты модели хорошо освещены данными, является типичной. А значит, в той или иной мере, ручного подбора (как универсального способа решения обратной задачи) не избежать. ХТото-LM не предоставляет удобной среды для ручного подбора. Но такой платформой служит еще один продукт XGeo – <u>Kinematic Seismic Model Fitter</u> (коротко, XMF). Это совершенно самостоятельный продукт, работающий непосредственно с сейсмограммами ОПВ, но его можно использовать для совместной с комплексом XTomo-LM+DPU кинематической интерпретации. Между XTomo-LM и XMF имеется двусторонний интерфейс, благодаря которому проект, начатый в XTomo-LM может быть продолжен в XMF и наоборот (см. <u>Среда обработки/Создание проекта</u> и, более подробно, – в документации XMF в разделе "XMF и XTomo-LM").

2 XTomo-LM 3: Обзор

Базовые инструменты интерпретации

ХТото-LM 3 включает следующие основные программные средства кинематической интерпретации:

- 1. Средства создания и редактирования модели среды.
- 2. Средства для определения, импорта и редактирования системы наблюдений, т.е. положения и нумерации источников и приемников.
- Средства кинематического моделирования или решения прямой кинематической задачи. Для данной (слоистой) модели среды и схемы наблюдений рассчитывается (и изображается) лучевая картина и вычисляются времена пробега указанных волн по лучам.
- 4. Средства решения обратной задачи сейсмической томографии.
- 5. Средства обращения годографов ныряющей, отраженной и головной волн.

Среда обработки

И обработка полевых материалов, и моделирование никогда не сводятся к разовому применению той или иной программы. Это всегда процесс, в котором подбираются параметры и условия, сравниваются различные варианты. Поэтому значительная часть программных средств XTomo-LM 3 связана с созданием и поддержкой среды обработки. В это понятие входят организация данных, средства управления ими и дисциплина работы (граф обработки). С задачей моделирования или материалами полевых наблюдений связывается проект, в рамках которого разворачивается работа пользователя. В XTomo-LM 3 различаются проекты моделирования (М-проекты, Modeling projects) и проекты обращения (I-проекты, Inversion projects). Граф обработки для проектов реализуется и управляется Менеджером проектов – головной программой системы, представляющей видимую пользователю часть среды обработки. Менеджер проектов отображает список проектов, а для открытого проекта - состояние обработки и иерархию данных. Он позволяет запускать модули и утилиты – приложения для решения базовых и сервисных задач. Менеджер проектов поддерживает элементы инфраструктуры проекта: пути к файлам и папкам специального назначения, список волн, цветовой спектр скорости. К сервисным задачам относятся средства просмотра, импорта и экспорта данных. Хотя ряд ключевых модулей системы являются графическими, система не включает средств презентационной графики, но обеспечивает возможность экспорта описаний модели, горизонтов, лучей и других объектов в ASCII файлы для импорта в графические пакеты, например, Surfer™ компании Golden Software ®.

О документации

Всюду в документе, начиная с этого места, "XTomo-LM" означает "XTomo-LM 3". Номер версии указывается, только если этого требует контекст. Англоязычный пользовательский интерфейс использует, по возможности, общепринятую в англоязычной литературе терминологию, но специфика в применении терминов, безусловно, есть. Она связана с использованием понятий в программных интерфейсах. В русскоязычной документации основной текст и указатель содержит термины, используемые в интерфейсе, на русском и английском языках. Документация в форматах СНМ и PDF вызывается из меню *Пуск/Все программы XTomo-LM* 3. Документация в формате СНМ используется также в системе контекстной помощи (клавиша F1, кнопки и меню Help).

3 Волны

Интерпретационные модели

В XTomo-LM предполагается, что в основу интерпретации могут быть положены две модели среды. Первая модель – непрерывно градиентная. Она используется, например, в сейсмологии, в которой, собственно, и возникла классическая томография на первых вступлениях. Первые вступления представляют собой события на сейсмической записи, отображающие резкий всплеск сейсмической энергии. Совокупность первых вступлений принимается за вступления волны, распространяющейся в градиентной среде. Задача томографии на первых вступлениях – определение скоростного разреза.

Вторая модель — слоистая, использующая данные регистрации отраженных и преломленных волн, порожденных сейсмическими границами. Интерпретация слоистой модели предполагает картирование сейсмических границ и определение скорости в слоях. В последней задаче снова может быть применен томографический подход, причем с использованием как первых вступлений, так и вступлений отраженных и преломленных волн. Эти замечания мотивируют классификацию волн в XTomo-LM.

Типы волн

Используются следующие термины:

- ныряющая или проходящая (diving or transient);
- отраженная (reflection);
- головная (преломленная, head, refraction).
- первая (first arrivals) совокупность первых вступлений на сейсмической записи.

Наблюденные на записях события должны попадать в одну из этих категорий. Ныряющая и проходящая волны по физической природе являются непрерывно рефрагированными. Какой из двух терминов "лучше" – зависит от системы наблюдений и от контекста. Термин *ныряющая* уместен, например, при профильных наблюдениях. В этом случае источники и приемники расположены вблизи дневной поверхности; лучи ныряющей волны вследствие рефракции, обусловленной возрастанием скорости с глубиной, "заворачивают" и возвращаются к дневной поверхности. В пользовательском интерфейсе употребляется один термин: diving wave.

Под *головной волной* понимается волна, распространяющаяся вдоль горизонта малой кривизны, который разделяет слои с предельными значениями скоростей V₁ (сверху) и V₂ (снизу), удовлетворяющими условию V₁ < V₂ Подразумеваемая физическая модель – волновод: волна распространяется вдоль тонкого слоя под горизонтом и порождает исходящие вверх лучи. В документации и пользовательском интерфейсе используется преимущественно термин "головная волна", а не "преломленная волна", чтобы избежать неясности.

Первая волна помещена в общий список, поскольку она интерпретируется как непрерывно рефрагированная. В условиях, когда идентифицируются также волны от сейсмических горизонтов, первая волна может содержать вступления волн разных типов. Так, типичной является ситуация, когда сменяющие друг друга головные волны от разных горизонтов последовательно выходят в первые вступления, так что первая волна состоит из вступлений ныряющей и преломленных волн. При подготовке входных данных для XTomo-LM одни и те же вступления могут использоваться более одного раза: в составе первой волны и, скажем, в составе преломленной волны. При обработке они могут использоваться для разных задач, скажем, для определения скорости по первым вступлениям и построения горизонта по годографам головной волны.

Если не оговорено противное, отраженные и головные волны предполагаются монотипными. В задачах моделирования рассматриваются также *обменные* (converted) волны. Факт конверсии после прохождения границы Н раздела слоев или при отражении от нее понимается формально, а именно, как изменение скорости распространения с V(x,z) на $C_H \cdot V(x, z)$, где V – скорость в данной модели, $C_H - коэффициент конверсии, зависящий только от горизонта.$

Кодировка

Волне сопоставляется числовой код (идентификатор, ID) следующим образом:

ID волны = 0, если волна ныряющая (проходящая); ID волны = <ID горизонта><Тип волны>, если волна отраженная или головная.

ID горизонта – число от 1 до 99, например порядковый номер горизонта в модели, считая сверху вниз (подробнее <u>здесь</u>). Тип волны кодируется одной или тремя цифрами:

0 – отраженная;
1, 100 - 199 – отраженные обменные;
2 головная;
3, 300 - 399 – головные обменные.

Как видим, по сравнению с версией 2 добавлены два диапазона для кодов обменных волн. Примеры ID волн:

(1) 0, 10, 1101, 3302, 102.

Они кодируют, соответственно: проходящую волну, волну, отраженную от горизонта 1, отраженную обменную от горизонта 1, головную обменную от горизонта 3, головную от горизонта 10. Кодировку нельзя назвать естественной, но это связано с обеспечением обратной совместимости версии 3 по данным с предыдущими версиями ХТото-LM. В пользовательском интерфейсе код волны выводится с дефисом между ID горизонта и типом:

(2) 1-0, 1-101, 3-301, 3-302, 10-2.

Во внутреннем представлении коды хранятся как 4-х или 5-значные числа:

(3) 0, 1000, 1101, 3302, 10200

В файлах SRT следует использовать представления (1) или (3).

Наряду с кодом волне сопоставляется набор атрибутов рисовки, в частности, уникальный цвет. Атрибуты используются при изображении лучей и годографов в графических модулях. Подробнее об этом сказано в разделе <u>Менеджер волн</u>.

4 Модель

Традиционно математической моделью слоистой среды является вектор-функция скорости

$$\mathbf{V}(x, z) = (V_1(x, z), V_2(x, z), ..., V_m(x, z)),$$

где компоненты вектора соответствуют слоям модели. Функции V_k(x, z) считаются гладкими и заданными в

областях плоскости (X, Z), соответствующих слоям. Слои описываются набором кривых — границ раздела. Дискретизация модели использует прямоугольную сетку для слоев и свою сетку для каждой границы раздела. Трассировка лучей осуществляется путем численного решения системы лучевых дифференциальных уравнений (Cerveny V, Psencik I. 2D Seismic Ray Package. Pague, 1981).

Концепция модели в XTomo-LM

В ХТото-LM модель описывается функцией скорости V(x, z), заданной в узлах криволинейной решетки (сетки), образованной набором вертикалей и семейством непересекающихся простых кривых (см. ниже). Ячейки сетки являются трапециями, параллельные стороны которой вертикальны. Левое и верхнее ребро ей принадлежат, точка их пересечения называется *вершиной* ячейки. Правое и нижнее ребро не принадлежит ячейке. Функция скорости продолжается с вершины ячейки внутрь ячейки как константа. После продолжения V становится кусочно-постоянной функцией в области модели и ступенчатой функцией z в каждой колонке. Алгоритм трассировки лучей не требует непрерывности V, тем более гладкости. Он использует не дифференциальную форму законов распространения (в лучевом приближении), а принципы Гюйгенса и Ферма в интегральной форме. Такое представление модели можно получить и путем дискретизации непрерывной модели, но это только частный случай.

В геологии и геофизике распределение скорости в среде обычно описывается в геометрических терминах (слой, горизонт, структура). Для описания геометрии модели криволинейная решетка подходит лучше прямоугольной. Для моделирования волны, отраженной от криволинейного горизонта, лучше всего использовать решетку, в которой горизонт является одной из линий сетки, а скоростная аномалия в покрывающей среде ограничена парой кривых и парой вертикалей (рис. 1). В отличие от традиционного подхода, ни горизонт, ни аномалия скорости не потребуют специального описания при трассировке лучей. Разумеется, в задачах, где геометрический фактор не имеет значения, достаточно использовать прямоугольную сетку.



Рис. 1. Эта слоистая модель точно представляется криволинейной решеткой рассматриваемого класса.

Подробности

Используется правая декартова система координат на плоскости с горизонтальной осью ОХ и осью ОZ, направленной вертикально вверх. Модель занимает область D, представляющую собой четырехугольник, ограниченный вертикалями x = L, x = R, а снизу – горизонталью z = B. *Верхняя граница модели* (model top line) может быть простой кривой. Кривая является простой, если пересекается любой вертикалью не более, чем в одной точке (а значит, на интервале [L, R] задается уравнением вида z = f(x)). Область D может располагаться произвольно по отношению к началу координат.

Прямоугольник модели – это наименьший прямоугольник, вмещающий модель. Он совпадает с областью модели, если ее верхняя граница горизонтальна. Прямоугольник модели остается постоянным в ходе обработки, в отличие от всех прочих элементов модели, которые можно редактировать.

Решетка или сетка (grid, mesh) образована набором вертикалей (или v-линий, v-lines) и набором простых кривых (h-линий, h-lines), не имеющих общих точек. Каждая h-линия обязательно пересекает левую и правую границу модели и, значит, не может "войти" или "выйти" из области D через верхнюю или нижнюю границы. Точки пересечения линий решетки называются *узлами* (nodes) решетки. Решетка образует вертикальные *колонки* (columns) и *ряды* (rows) ячеек. Вертикали и колонки нумеруются слева направо, h-линии и ряды – сверху вниз. Для пользователя ячейка (и узел, который является ее вершиной) определяется *двойным индексом* (номер колонки, номер ряда). Узлы на нижней и правой границей не интерпретируются. В подписи к рис. 2 названы стандартные подмножества решетки.



Рис. 2. Стандартные подобласти решетки.

1 — ячейка (cell) и ее вершина (vertex); 2 — подрешетка (subgrid); 3 — колонка (column);
 4 — вертикальная полоса (vertical strip); 5 — ряд (row); 6 — горизонтальная полоса (horizontal strip).
 Слева вверху показано направление нумерации рядов и колонок.

Ограничения на h-линии являются достаточно сильными. Их можно описать термином субгоризонтальность. H-линиями нельзя описать очень сложные структуры, но подходящим распределением скорости на решетке с h-линиями их можно хорошо аппроксимировать. H-линии нумеруются сверху вниз. Homep h-линии совпадает с номером ряда, для которого она является кровлей.

Частота линий решетки выбирается из физических соображений. В первую очередь, следует помнить, что распространение волн описывается в лучевом приближении, и, значит, изменения параметров модели на расстояниях меньших двух длин волн не имеют физического смысла. Значит, следует принимать во внимание спектр волны, "освещающей" данный интервал разреза. По этой причине решетка в верхней части разреза должна быть гуще, чем на больших глубинах. По причинам, связанным с корректностью машинных вычислений, следует избегать вытянутых ячеек. Отношение проекций ячейки на координатные оси должно лежать в интервале от 0.1 до 10, но лучше, чтобы оно было ближе к 1. Модель без сейсмических границ численно описывается как упорядоченное множество троек {(x_k, z_k, V_k)}. Каждая

тройка задает координаты узла и значение скорости.

Сейсмические горизонты. Описание слоистой модели

Идея использования криволинейной решетки состоит в том, чтобы сейсмические горизонты совпадали с некоторыми ее h- линиями. Как только уравнение горизонта становится известным, он встраивается в

решетку, меняя ее, конечно, и становится ее h-линий. Это может быть сделано, в частности, при создании проекта, если один или несколько сейсмических горизонтов известны и надлежащим образом описаны.

Подробное объяснение этой процедуры вставки горизонта дано в разделе <u>Изменение геометрии модели</u>. Здесь констатируем тот факт, что в XTomo-LM задать горизонт – означает указать номер h-линии H, ID горизонта и указать хотя бы одну волну W, которая на нем образовалась. В качестве ID можно взять порядковый номер горизонта в модели, считая сверху. Но лучше брать в качестве ID числа, идущие не подряд, например, 10, 20, 30, но возрастающие вместе с глубиной залегания горизонта – это обязательное условие. Тогда не будет проблем с вставкой новых горизонтов. Тройка чисел (ID, H, W) полностью определяет горизонт (даже с некоторой избыточностью).

Модель является слоистой, если определен хотя бы один горизонт, отличный от верхней границы модели. Таким образом, слоистая модель **M** описывается, во-первых, распределением скорости V(x, z) и, вовторых, *списком горизонтов* **H**, т.е. набором троек (ID, H, W). Коротко: **M** = (V, **H**).

5 Данные

22

Совокупность данных, с которыми имеет дело пользователь в XTomo-LM, можно разделить на два класса. Первый класс — это данные наблюдений (коротко — наблюдения, observations), которые являются входными и включают данные позиционирования и времена пробега волн. Второй класс составляют сведения о модели, полученные либо средствами XTomo-LM, либо из внешних источников. Например, при глубинных исследованиях информация о границах в верхних слоях может быть получена либо путем обращения годографов отраженных волн, либо заимствована из результатов обработки методом ОГТ. То же относится к информации о скорости. В этом разделе описано, в какой форме данные могут использоваться системой XTomo-LM. Слово "форма", на самом деле, означает формат текстового файла (точнее, ASCII-файла), в котором эти данные хранятся.

Файлы наблюдений

Данные наблюдений хранятся в текстовом файле формата <u>SRT</u>. Строка такого файла состоит из трех блоков: **S**, **R**, **T**. Блоки **S** и **R** – это тройки чисел ID, X, Z, описывающие источник (Source) и приемник (Receiver). ID – это номер или идентификатор, X и Z – координаты. Блок **T** содержит пару чисел T и W: время пробега от источника **S** к приемнику **R** волны с кодом W. Заметим, что строка файла SRT, фактически, несет информацию о луче волны. К числу файлов наблюдений относятся и файлы формата #DT, который использовался в системе томографии на первых вступлениях Firstomo[®].

Для описания систем наблюдений в проектах моделирования используются "урезанные" форматы <u>SR</u> или <u>S+R</u>. Строки файлов первого формата хранят блоки **S** и **R**. Второй формат требует двух файлов с блоками **S** и **R** соответственно. Эти форматы используется в проектах моделирования. В файлах наблюдений не предполагается какого-либо упорядочения строк.

SRT-порт

Импорт файлов наблюдений не является элементарной операцией. Во-первых, требуется исчерпывающая проверка содержимого, чтобы исключить всякого рода двусмысленности. Во-вторых, нужны средства просмотра содержимого файлов в табличном и графическом виде (в виде систем годографов). Все эти задачи решает *SRT-порт*. Эта программная компонента поддерживает хранилище данных, в котором проверенные файлы типов SRT, SR, S+R и #DT находятся во внутреннем формате как базы данных, готовые для многократного использования. SRT-порт изолирует технические проблемы импорта от основной обработки, в ходе которой данные извлекаются уже из хранилища данных. Работа с SRT-портом и дальнейшее движение наблюденных данных описаны в главе <u>Наблюдения</u>.

Составление файлов наблюдений

Формально файл наблюдений может составить пользователь в любом текстовом редакторе или в электронной таблице с последующим экспортом в текстовый файл. Но для массовых наблюдений, особенно в морской сейсморазведке, получение файлов наблюдений превращается в проблему. Вопервых, может потребоваться преобразование координат из системы, принятой в проекте полевых работ, к двумерной декартовой системе (X, Z), используемой в XTomo-LM. Во-вторых, на сейсмических записях должна быть проведена идентификация и разделение сейсмических волн, и должны быть считаны времена вступлений. Наконец, должен быть сформирован файл формата SRT, возможно, очень большого размера. Понятно, что выполнить такую работу без соответствующих программных средств невозможно. Как говорилось в первом разделе главы, одно из <u>расширений</u> XTomo-LM – Data Preparation Unit (DPU) может быть использовано для решения все перечисленных выше задач. Входными данными для него являются сейсмограммы ОПВ и данные позиционирования.

Геометрия наблюдений. Системы годографов

Инструментарий решения обратных задач зависит от геометрии наблюдений. В XTomo-LM различают профильные наблюдения (2D profiling) и прочие (Other 2D). Наблюдения относятся к *профильным*, если они, действительно, получены на продольном профиле и выполнено следующее формальное условие:

(1) точки постановки источников и приемников однозначно определяются своими абсциссами X (иначе: устройства одного типа не могут располагаться одно под другим).

В силу условия (1) можно утверждать, что множество наблюдений { (S, R, T, W) }, где волна W и источник S фиксированы, а приемники упорядочены по возрастанию абсцисс X_R , можно описать функцией T = T(X) = $T_S(X_R)$, которая называется *годографом* волны W. Мы использовали введенные выше обозначения для формата SRT. Чаще говорят о паре годографов от источника S: *прямом*, который задан для $X_R > X_S$ и *встречном*, который определен при $X_R < X_S$. Приемник с $X_R = X_S$ может быть отнесен либо к прямому, либо к встречному годографу. *Система годографов* волны W – это совокупность годографов волны W, отвечающих всем источникам.

Таким образом, профильные наблюдения порождают системы годографов. К профильным наблюдениям применимы все средства обращения ХТото-LM, в частности:

- 1. Построение начального скоростного разреза для томографии по годографам ныряющей волны.
- 2. Томография на лучах ныряющей, отраженных или головных волн.
- 3. Построение сейсмических горизонтов по годографам отраженных и головных волн.

Для наблюдений с другой геометрией XTomo-LM обеспечивает решение прямой задачи и томографическое обращение для всех типов волн. При этом расположение источников и приемников может быть произвольным, но выше изучаемых горизонтов. Например, все или часть устройства могут располагаться в скважинах.

Геометрия наблюдений указывается пользователем при вводе файлов наблюдений в SRT-порт и при создании проекта обращения.

Сведения о скорости

ХТото-LM принимает данные о скорости в форме набора скоростных колонок (velocity column set). Скоростная колонка – это табличное представление одномерного распределения V(z), т.е. последовательность пар VC = { $(z_k, V_k), k = 1, 2, ..., n$ }, в которой z_k следуют в порядке убывания (т.е. возрастания глубины). При вводе скоростной колонки VC возникает неоднозначность в ее трактовке. VC можно трактовать либо как ступенчатую функцию (step function), либо как кусочно-линейную непрерывную функцию. В первом случае VC моделирует пачку слоев на полупространстве, в которой скорость V_k относится к слою с кровлей z = z_k . Во втором случае VC представляет непрерывное распределение скорости в слое [z_n , z_1]. Решение о способе интерпретации принимает пользователь.

C:\XTLM3_Impex\VC-init\vel.vc		
How to treat velocity columns?		
As step function	○ As piecewise linear function	

Рис. 1. Импорт скоростной колонки.

Каждый раз при импорте скоростной колонки или набора скоростных колонок XTomo-LM выводит диалог, показанный на рис. 1. В нем пользователь задает имя файла и определяет способ трактовки скоростных колонок. При импорте набора скоростных колонок все колонки в нем трактуются одинаково.

В наборе скоростных колонок каждая колонка приписывается к некоторой точке линии наблюдения с заданной абсциссой и имеет свою последовательность z_k и свое n. Набор скоростных колонок – это естественный способ задания двумерного распределения скорости V(x, z). В конце концов, скорость V(x, z), заданная на решетке, есть большой набор скоростных колонок. Набор скоростных колонок хранится в файле формата <u>VC</u>. VC-файл может быть построен, например, по данным сейсмокаротажа или создан модулем обращения системы годографов ныряющей волны. Он может быть использован для определения стартовой модели при создании проекта или как источник для корректировки скорости в ходе обработки.

Сведения о геометрии модели

Геометрия модели определяется формой одной или нескольких h-линий, в частности, тех, которые представляют сейсмические горизонты. При моделировании распространения волн в слоистой среде пользователь задает горизонты, а затем "натягивает" на них подходящую решетку, в ячейках которой задает скорость. Эти стандартные действия мотивируют понятие *каркаса модели*. Так называется набор непересекающихся простых кривых, заданных на общей x-ceтке. Каркасы хранятся в файлах формата <u>MG</u> (model geometry). В проектах обращения такой файл может содержать одну или несколько кривых, полученных из внешних источников, либо горизонт, построенный в XTomo-LM путем обращения системы годографов отраженной или головной волны. При моделировании каркас может быть использован как элемент стартовой модели во время создания проекта; в проектах обращения кривая из MG-файла встраивается в решетку модулем редактирования модели. Работа с каркасами – создание и редактирование в графическом режиме, импорт/экспорт – реализуется утилитой UMG (полное имя MG File Editor), которая, как и SRT-порт, является автономной компонентой XTomo-LM. Она обеспечивает подготовку данных для моделирования, и ее же использует редактор модели для изменения формы h-линий.

6 Числа

Основные переменные и единицы измерения

Основными переменными в кинематическом анализе являются расстояние (D), время (T) и скорость (V). Единицы измерения не фигурируют в пользовательском интерфейсе XTomo-LM, но при этом применяются следующие соглашения: единица измерения времени – секунда; единица измерения скорости – <единица длины>/секунда. Положение объекта определяется координатами X и Z (|X| и |Z| – это тоже расстояния). Относительно единицы длины см. ниже.

Машинные вычисления

При вычислениях XTomo-LM оперирует с 4-байтными двоичными числами с плавающей точкой, что приблизительно соответствует десятичным числам с 7 значащими цифрами. Главная проблема вычислений с конечной точностью — накопление ошибок округления, которое может привести к непредсказуемым результатам при использовании некоторых алгоритмов.

Ограниченная точность машинных вычислений является ограничением на *относительную близость объектов*. Действительно, при вычислении расстояний координаты вычитаются. Если объекты близки, происходит потеря значащих цифр, тогда как оставшиеся младшие разряды могут быть испорчены ошибками округления. Объекты становятся неразличимыми, и вычислительная задача теряет смысл. Объектами, о которых здесь идет речь, являются элементы модели (линии решетки, ячейки и т.п.) и устройства системы наблюдений.

Пространственное разрешение объектов

Чтобы решить проблему корректности вычислений, в ХТото-LМ используется следующее требование:

расстояния D между объектами одного типа ограничены снизу: (1) $D \ge R = 0.5 \cdot 10^{-5} \cdot max(W, H),$

где W и H – ширина и высота прямоугольника модели; число R называется разрешением.

В подавляющем большинстве случаев условие (1), действительно, обеспечивает корректность всех вычислений в процессе обработки. Второе требование связано с удобством представления числовых данных в пользовательском интерфейсе и текстовых файлах:

(2) значения основных переменных представляются в виде чисел с фиксированной точкой и числом значащих цифр не более 7.

Условие (2) связано с (1) следующим образом: если (1) справедливо, то выполнения (2) для координат можно добиться за счет выбора единицы длины и сдвига начала координат, потому что базовое требование (1) является ограничением на диапазон измерений. В типичных задачах единицей длины может быть метр или километр, а значения времени и скорости также укладываются в диапазон, определяемый условием (2).

Форматы числовых данных

При создании проекта, основываясь на размерах стартовой модели, ХТото-LM вычисляет разрешение R и предлагает *форматные строки* для основных переменных в виде

(2) **9999.999** или **99999.99** или **9999999.** ит.д.

В (2) девятка означает десятичную цифру, число цифр всегда равно 7, а десятичным разделителем является точка независимо от настроек Windows. Форматная строка задает десятичное приближение, а число десятичных цифр после запятой определяет его точность: она равна половине единицы последнего разряда форматной строки. Форматные строки в (2) задают точности 0.0005, 0.005, 0.5. Форматные строки используются всеми программами XTomo-LM для вывода значений основных переменных в данном проекте. *Форматные строки для координат согласованы с разрешением*. Это значит, что точность соответствующих десятичных приближений ограничена снизу разрешением R. Пользователю разрешено изменять форматные строки для координат, но только в сторону уменьшения точности. Форматные строки для выбираются пользователем, сообразуясь с типичной для данного вида сейсмических работ точностью.

Ошибка разрешения

Ошибка разрешения (resolution error) возникает каждый раз, когда из-за действий пользователя расстояние между двумя объектами одного типа (или максимум из разности их координат) становится меньше разрешения. При возникновении ошибки разрешения выполняемая операция отменяется и выводится сообщение об ошибке. Если пользователь при описании входных данных (в том числе, в текстовых файлах) использует определенные для проекта форматные строки, ошибка разрешения не возникнет. Однако ее появление вполне вероятно при графическом редактировании или при импорте внешних данных.

О проектах ранних версий

Для проектов, созданных версиями XTomo-LM, более ранними, чем 3.2, учет точности вычислений отличался от изложенного выше. Версия 3.2 полностью поддерживает обратную совместимость.

7 Программы

Пользователь должен иметь некоторое представление о структуре программного обеспечения (ПО), чтобы правильно реагировать на аварийные ситуации. ХТото-LM включает более 40 Windows-приложений. Одно из них - Project Manager (РМ, Менеджер проектов) - является главным в том смысле, что оно запускается при двойном щелчке по иконе ХТото-LM, а его завершение закрывает сеанс работы с системой. Остальные приложения в документации и интерфейсе пользователя называются модулями XTomo-LM. Часть модулей запускает РМ (такие модули называются первичными), другие запускаются первичными модулями. Если модуль является оконным приложением, на панели задач появляется новая икона (все иконы модулей одинаковы). Кроме того, РМ сам поддерживает список активных первичных модулей, который предоставляет пользователю некоторую функциональность по управлению работающими приложениями. Две команды управления модулями особенно важны. Это команда Close, позволяющая завершить модуль, и команда Abort, завершающая его принудительно. Между ними большая разница. Команда Close корректно завершает модуль, закрывает файлы и базы данных, гарантируя сохранность данных. Если в момент завершения были активны вторичные модули, они также корректно завершаются. Команда Abort просто снимает указанный модуль, не обращая внимания ни на открытые файлы, ни на работающие модули, которые остаются активными, но связь с ними теряется. Использовать эту команду нужно в крайнем случае (см. также здесь).

Часть модулей ХТото-LM является графическими. В них просмотр и редактирование данных производится в графической форме. Графические модули делятся на два класса по типу данных: одни, как Model Editor, работают с изображением модели, другие, как утилита UMG, – с семействами кривых. В обоих случаях основное изображение выводится на особой панели – *планшете*, позволяющем выполнять увеличение, прокрутку, выделение элемента изображения для редактирования. Графические модули предъявляют высокие требования к вычислительным ресурсам из-за частой перерисовки изображения, которое представляет обычно большие объемы данных. Например, при выводе лучевой картины время отрисовки может быть значительным.

Поскольку XTomo-LM обеспечивает многошаговую и многовариантную обработку, промежуточные данные обработки "размножаются" довольно быстро. Они хранятся в плоских файлах и файлах локальной СУБД в папках проектов. За ними надо следить, убирая ненужные узлы Дерева обработки и регулярно создавая резервные копии проекта. Все эти операции выполняются в Project Manager.

XTomo-LM не является сетевым приложением в том смысле, что файлы и базы данных создаются системой и обрабатываются на той же рабочей станции, на которой установлено ПО. Импортируемые и экспортируемые файлы могут, конечно, размещаться в сетевых папках. Project Manager может скопировать проект на другую станцию локальной сети или "забрать" его оттуда, но обработка происходит локально.

Среда обработки

1 Схема обработки

Пусть **M**₀ = (V₀, **H**₀) – начальная модель: V₀ = V₀ (x, z) – скорость, **H**₀ – список горизонтов (возможно, пустой). Обработку в проекте обращения можно описать как последовательность *циклов*, каждый из которых является комбинацией следующих базовых задач:

- 1. Редактирование модели: **М**₀ -> **М**₁.
- 2. Выборка данных о системе наблюдений из SRT-порта либо копирование их из предыдущего цикла.
- Обращение годографов ныряющей волны для получения более точного начального приближения V₀ к скоростному разрезу.
- 4. Построение сейсмического горизонта (отражающего или преломляющего).
- Решение прямой задачи для модели M₁ (трассировка лучей) и данной системы наблюдений; анализ решения.
- Решение обратной задачи томографии только для І-проекта; результатом является уточненное (refined) распределение скорости V_{1r} и соответствующая модель M_{1r}.

Разумные комбинации задач такие: 2-3-1; 1-2-4; 1-2-5; 1-2-5-6. Один цикл составляет <u>итерацию</u> в ходе последовательного приближения к результатам интерпретации. Каждая итерация может иметь несколько вариантов из-за необходимости оптимального подбора параметров обрабатывающих программ. Завершение процесса интерпретации всегда происходит после решения прямой задачи (5), после вычисления статистик невязок между расчетными и наблюденными временами. Комбинация 1-2-5 используется при <u>ручном подборе модели</u>.

В <u>М-проекте</u> число циклов зависит от цели моделирования. Обычно М-проект включает решение прямой задачи для набора близких моделей и нескольких систем наблюдений.

Каждый шаг цикла требует входных данных из предыдущих шагов и порождает выходные данные, иногда очень большого объема. Так формируется поток данных интерпретации, точнее иерархическая структура данных, называемая Деревом обработки. Строение Дерева будет объяснено в свое время.

2 Менеджер проектов

Менеджер проектов – головная программа XTomo-LM. Она запускается, когда пользователь щелкает по ярлыку XTomo-LM на рабочем столе. Назначение программы – представлять пользователю среду обработки и управлять ею. В этом разделе дается общий обзор приложения.

Главное окно

Менеджер проектов поддерживает как общесистемную функциональность, так и работу индивидуальных проектов. Главное окно программы частично показано на рис. 1.



Рис. 1. Главное окно Менеджера проектов.

Оно имеет три панели: Project List (список проектов); Processing Tree (Дерево обработки открытого проекта) – справа; Comment (примечания к выделенному узлу дерева) – справа внизу. В списке проектов I- и Мпроекты обозначены разными значками. Дерево обработки отображает поток данных, создаваемых в ходе обработки. Главное меню программы, а также контекстные меню списка проектов и Дерева обработки обеспечивают поддержку среды обработки и реализацию графа обработки. Особое значение имеет меню Дерева. Оно содержит команды запуска исполняющих модулей для решения основных задач обработки. Работа с Менеджером проектов составляет содержание настоящей главы.

Создание общих папок

Для работы системы необходимо зарезервировать три *общие папки*, которые используются всеми проектами XTomo-LM:

рабочая папка – содержит папки проектов;

общая папка импорта-экспорта – контейнер для папок импорта-экспорта проектов;

архивная папка – содержит файлы пакетов и архивные файлы проектов;

Общие папки должны быть созданы до начала работы с проектами. Можно использовать несколько папок каждого типа. Например, помещать разные группы проектов в разные рабочие папки. Создавать рабочие папки можно непосредственно в Менеджере, используя команду главного меню Working Folders / Common Folders. Ей соответствует первая кнопка инструментальной панели. Команда вызывает диалог XTomo-LM Common Folders (рис. 2).

29

XTomo-LM Common Folders	8
Working Folder	
C:\XTLM3_Works	•
Container for project Import-Export folders	
C:\XTLM3_Impex	
Package/Archive Folder	
C:\XTomo-LM_Packages & Archives	-
OK Cancel 😢 Help	

Рис. 2. Главное окно Менеджера проектов.

Диалог демонстрирует три поля, отвечающие общим папкам. Над каждым полем справа имеется кнопка браузера локальных папок для выбора новой папки. Поля, отвечающие рабочей и архивной папкам, являются выпадающими списками, которые позволяют быстро переключаться между разными общими папками. Списки накапливаются по мере определения новых папок. Понятно, что общие папки должны быть *разными*, т.е. не содержаться одна в другой. Ни один проект не может быть создан, пока общие папки не определены.

3 Создание проекта

При создании проекта пользователь должен ввести информацию, которая иногда требует предварительной подготовки. Формально от него требуется:

- (1) указать имя проекта;
- (2) указать геометрию наблюдений для І-проекта;
- (3) определить стартовую модель;
- (4) скорректировать, если надо, форматы числовых данных.

Геометрия наблюдений может быть 2D Profiling или Other 2D Surveys. Выбор геометрии наблюдений влияет на граф обработки, как было разъяснено во <u>Введении</u>.

Стартовая модель.

В XTomo-LM проект не может быть создан без определения модели. Эта модель называется *стартовой*. Она определяет <u>прямоугольник модели</u>, который не может быть изменен в дальнейшем. Исключением является однократная операция ввода нивелировочного разреза, которая меняет верхнюю границу разреза в пределах прямоугольника модели. В остальном же в ходе обработки стартовая модель может быть изменена радикально.

Разумно выбирать стартовую модель с учетом имеющейся априорной информации. XTomo-LM предлагает несколько вариантов ее использования.

NՉ	Априорные данные	Как создается стартовая модель?
1	Нет	Простая модель: ортогональная решетка, в угловых ячейках которой определены значения скорости. Параметры решетки и скорости в углах задаются пользователем. Скорость в модели рассчитывается путем интерполяции.

Таблица 1. Способы создания стартовой модели

2	Набор скоростных колонок	Определение см. <u>здесь</u> . Пользователь задает ортогональную решетку и предъявляет VC-файл со скоростными колонками. Программа рассчитывает скорость в ячейках решетки, интерполируя значения скорости в скоростных колонках. Файл должен быть подготовлен заранее.
3	Каркас модели	Определение см. <u>здесь</u> . Пользователь задает прямоугольник модели и скорости у его вершин, затем указывает путь к MG-файлу. Импортируя h- линии, программа строит слоистую модель с постоянными пластовыми скоростями. Файл должен быть подготовлен заранее. Напомним, что если первая кривая в MG-файле не имеет номер 0, она интерпретируется как верхняя граница модели. Если файл содержит только ее, после создания проекта следует первым делом добавить дополнительные h-линии, используя команду редактора модели Double Number of Rows.
4	Модель, заданная текстовым файлом формата VFT.	Программа формирует скоростную модель, вообще говоря, на криволинейной решетке по информации из файла. Файл должен быть подготовлен заранее.
5	Модель из проекта XTomo-LM 3	Пользователь выбирает нужный проект ХТото-LM 3 в любой рабочей папке в пределах локальной сети. Программа копирует модель из указанного источника.
6	Импорт модели из проекта XMF.	XMF (Kinematic Seismic Model Fitter) — платформа для ручного подбора слоистой модели. Стартовая модель из проекта XMF используется при <u>совместной</u> с XMF интерпретации.

Project Constructor

Проект создается специальным модулем New Project Constructor (NPC). Проекты обращения и моделирования создаются разными командами меню *Working Folders*, но обе запускают NPC, и действия пользователя в обоих случаях почти одинаковы. Для определенности говорим об I-проекте. Если в Менеджере открыт проект, его следует закрыть. Только тогда команда *Working Folders New I-Project* становится доступной. Главное окно модуля состоит из двух вкладок (рис. 1).
🖬 Inversion Project Constructor — 🗆 🗙	xr Inversion Pro	ject Const	ructor	-	
Main Properties Bounds and Formats	Main Properties	Bounds	and Formats		
T X Define project name, type of observations and starting model. Then, on the second tab, set physical resolution	Starting Mode	el Rectangl	e and Velocity R	ange	
and formats of the base variables.	0	.00	100.00	C	urrent
Project Name (and folder)	0.00	\rightarrow	Model Top Line	veloc	ity Kange:
NewProject	-20.00	z ı	Model Domain	V _{min}	2.10
No more than 25 characters, no starting or trailing blanks. No change after starting model is defined	N	Aodel rectar	ngle is unalterable	Vmax	0.00
Observations Geometry 2D profiling ~	Formats				
Starting Model	Variable	Format	Resolution	Variable	Format
Model defined by a set velocity columns	x	99999,99	0.0005	т	9999,999
Orthogonal grid. Velocity is defined by a set of velocity columns imported from a VC file.	Z	99999.99	0.0005	v	99999.99
Project Import/Export Folder	To move the	dot in a form	nat field, click it w	ith Ctrl or Shi	ift key pressed.
C:\XTLM3_Impex\NewProject	Click+Ct	rl moves the	e dot to the roght,	Click + Shift - 1	to the left.
Can be changed later as project property					
Teate Cancel 😢 Help	6	🗓 Create	Cancel	😢 Help	•

Рис. 1. Вкладки главного окна модуля New Project Constructor.

Первая вкладка содержит поля для имени проекта, геометрии наблюдений (только в I-проекте), типа стартовой иодели и папки импорта-экспорта проекта. Сначала вводим имя проекта в поле *Project Name*. Имя проекта является одновременно именем папки, поэтому нельзя использовать символы из известного списка. Кроме того, имя содержит не более 25 символов и не может иметь ведущих и концевых пробелов. По мере ввода имени автоматически формируется имя папки импорта-экспорта. Она помещается внутрь <u>общей папки</u> импорта-экспорта. Если она по каким-то причинам не устраивает пользователя, ее можно изменить, но только после создания проекта. <u>Геометрию наблюдений</u> выбираем из выпадающего списка *Observation Geometry*. Далее переходим к выбору типа стартовой модели. Список возможных типов моделей *Starting Model* соответствует таблице 1.

Создание стартовой модели

Процедура запускается щелчком по кнопке справа от поля Starting Model. Команда открывает диалог, свой для каждого типа модели. Ниже будем различать диалоги, используя номера первой колонки Таблицы 1.



Рис. 2. Создание стартовой модели. а - диалог 1; b - диалог 5.

Диалог 1 (простая модель) показан на рис. 2а. После вызова поле (1) находится в фокусе. Введите в него абсциссу левой вертикали решетки Xmin. Нажимая клавишу Tab, последовательно введите значения Xmax, Zmax, Zmin. После этого Tab перемещает каретку в поле m (число горизонталей решетки, без учета граничных), затем — в поле n (число внутренних вертикалей), затем — в поле (2). В это поле вводится скорость в левой верхней ячейке. Она появляется в остальных трех полях скорости. С помощью клавиши Tab отредактируйте эти поля, если нужно. После этого щелкните по кнопке OK. Щелчок по кнопке OK создает и сохраняет модель.

Диалог 2, в отличие от диалога 1, не содержит полей для скорости: пользователь задает только решетку. После щелчка по *OK* открывается диалог импорта скоростных колонок, в котором следует выбрать файл типа VC и указать способ интерпретации скоростной колонки (см. <u>Данные</u>). Щелчок по кнопке *OK* в этом диалоге запускает операцию импорта и создания модели. Получить представление о том, как формируется скорость на решетке, можно <u>здесь</u>.

Диалог 3 отличается от диалога 1 отсутствием поля *m*: горизонтали решетки не задаются, определяется только х-сетка по х, на которую будут пересчитаны кривые из MG-файла. После закрытия диалога кнопкой *OK* следует выбрать MG-файл в открывшемся файловом диалоге.

Диалог 4 является файловым диалогом для выбора файла типа VFT.

Диалоги 5 и 6. Первый показан на рис. 2b. Папка проекта, из которого будет скопирована модель, выбирается в браузере папок Windows (кнопка над полем *Source Project*); проект может находится на любом узле локальной сети. При этом заполняется выпадающий список корневых узлов Дерева обработки (поле *Model Node*). Из списка выбирается нужный узел. Вместе с моделью из проекта могут быть заимствованы инфраструктурные объекты (спектр скорости, список волн, список горизонтов – выберите нужное). Это может упростить "обустройство" нового проекта.

Диалог 6 отличается от диалога 5 только тем, что проект-источник должен быть проектом XMF и присутствует только опция копирования спектра. Импорт модели возможен, только если в проекте XMF каждый горизонт привязан, по меньшей мере, к одной волне.

Границы и форматы

32

После создания стартовой модели становится доступной вторая вкладка диалога создания проекта "Bounds and formats" (рис. 1b). На ней показаны прямоугольник модели и границы изменения скорости стартовой модели. В дальнейшем границы скорости можно будет расширить в модуле управления цветовым спектром скорости. В таблице Formats выводится значение пространственного разрешения и форматные строки по умолчанию для основных переменных. Пользователь может переместить десятичную точку в форматных строках, если нужно. Для этого следует щелкнуть по форматной строке с нажатой клавишей-модификатором Ctrl или Shift. В певом случае точка перемещается на разряд вправо, во втором — влево. Для форматных строк координат перемещение точки влево (увеличение точности) может вызвать ошибку разрешения.

Завершение. Просмотр свойств проекта

Щелок по кнопке *OK* завершает создание проекта. Модуль создает папку проекта, Дерево обработки с узлом "Model 1" и всю инфраструктуру проекта. Список волн и Цветовой спектр скорости, если они не были скопированы в диалоге 5, создаются со свойствами по умолчанию. Узел "Model 1" содержит стартовую модель. Модуль завершает работу, имя нового проекта появляется в списке проектов Менеджера проектов, и на нем стоит курсор списка.

Для любого открытого проекта команда главного меню Meнeджера *Project*/*Properties* позволяет просмотреть свойства проекта, заданные при его создании. Команда запускает тот же модуль в режиме просмотра свойств. В этом режиме пользователь может изменить только следующие свойства:

папку импорта/экспорта;

• форматные строки для X, Z, T.

Границы диапазона скорости и форматную строку для нее можно изменить в <u>Менеджере спектра</u> скорости.

4 Поддержка проектов

Команды для работы с проектами находятся в меню *Working Folder* и *Project*, а также в контекстном меню списка проектов. В меню *Working Folder* собраны команды, добавляющие проекты в текущую рабочую папку. Меню *Project* относится к открытому в данный момент проекту. Команды меню перечислены в таблицах 1–3.

Команда	Действие
Common folders	Вызывает диалог для определения/выбора общих папок XTomo-LM. <u>Подробнее</u> .
New M-Project, New I-Project	Запускает модуль создания нового проекта. <u>Подробнее.</u>
Add Project from Network Location	Вызывает диалог для добавления в текущую рабочую папку проекта, расположенного в другой рабочей папке (в т.ч. на другой станции локальной сети) с возможностью изменения имени.
Add Project from Package or Archive	Вызывает диалог, позволяющий выбрать пакет или архив в архивной папке и создать из него проект в текущей рабочей папке. <u>Подробнее.</u>
Add Project from Version 2 Project	Вызывает диалог, позволяющий выбрать ветвь Model- Observation в проекте версии 2.х и на их основе создать проект в текущей рабочей папке. <u>Подробнее.</u>
Show Notes as Hint	Команда включает/выключает вывод подсказки к элементам списка проектов при наведении курсора. Окно подсказки содержит начало комментария к проекту (User Notes, табл. 2).

Таблица 1. Команды меню Working Folder. Добавление проектов в рабочую папку

Таблица 2. Команды меню Project. Действия с открытым проектом

Команда	Действие
Properties	Вызывает диалог со свойствами открытого проекта. <u>Подробнее</u> .
Velocity Color Spectrum	Вызывает Менеджер спектра скорости. Команда доступна всегда. <u>Подробнее.</u>
Wave Manager	Вызывает Менеджер волн. Команда доступна всегда. <u>Подробнее.</u>
Close Project	Закрывает открытый проект.
User Notes	Вызывает диалог комментария к проекту. Он предназначен для хранения и редактирования заметок по ходу интерпретации.

Таблица 3. Команды контекстного меню списка проектов

34

Команды меню действуют на закрытый проект, выделенный в данный момент в списке. Оно не доступно, если активен модуль, который может работать с данными закрытого проекта, например <u>утилита</u> сравнения скоростей или модуль просмотра модели <u>закрытого проекта</u>.

Команда	Действие
Open	Открывает выделенный в списке проект (двойной щелчок).
Rename	Позволяет изменить имя проекта.
Clone	Создает копию проекта в текущей рабочей папке с указанным именем.
Copy to	Вызывает диалог для копирования проекта в указанную папку (в т.ч. на другой станции локальной сети) с возможностью изменения имени.
Delete	Удаляет проект из списка, а его папку со всеми данными – с диска.
Archive	Вызывает диалог для создания архивного файла проекта. <u>Подробнее.</u>
View Model	Позволяет запустить просмотр модели выделенного проекта, не совпадающего с открытым сейчас проектом. <u>Подробнее</u>

5 Дерево обработки

<u>Вид. Термины</u> – <u>Поле примечаний</u> – <u>Реализация схемы обработки</u> – <u>Обслуживание Дерева</u> – <u>Копирование о-</u> <u>узла</u> – <u>Контекстное меню</u> – <u>Просмотр моделей из других проектов</u> – <u>Список активных модулей</u>.

Вид. Термины

Дерево обработки является структурой данных, динамически создаваемых в папке проекта в ходе интерпретации. Менеджер проектов представляет эти данные пользователю и обеспечивает доступ к ним. Термин "дерево обработки" используется и для структуры данных на диске и для ее визуального представления в главном окне Менеджера проектов (рис. 1).



Рис. 1. Фрагмент Дерева обработки проекта.

Названия узлов Дерева фиксированы, а нумерация ведется программой. При удалении узлов номера оставшихся узлов не меняются. В документации и пользовательском интерфейсе используются следующие сокращения для узлов разных уровней:

Model — m-узел Observations — o-узел; Forward Problem — f-узел; Tomography Inversion — i-узел.

Дерево обработки является также отображением дерева папок файловой системы. За каждым узлом стоит папка с данными и служебной информацией. Отождествляя узел с папкой, будем говорить, что m-узел содержит модель, о-узел — наблюдения, fузел — решение прямой задачи, i-узел — файл модели, уточненной методом томографии.

Поле примечаний

Небольшое поле примечаний или комментариев *Comment to Node <код узла>* относится к выделенному в Дереве узлу. Код узла состоит из номеров родителей и самого узла, разделенных косой чертой и следующих от корня., например, Node 1/1/2 – код f-узла на рис. 1. Длина текста примечания ограничена 300 символами. Иногда при создании узла Менеджер проектов сам записывает в поле строку о происхождении узла (рис. 1). Но в дальнейшем это обязанность пользователя. При многовариантной обработке комментарии необходимы, чтобы ориентироваться в Дереве. Для того, чтобы отредактированный или введенный текст сохранился, следует щелкнуть по кнопке *Save* или нажать Enter. Если вместо этого щелкнуть по Дереву или списку проектов или нажать Esc, то сделанные изменения отменяются. Кнопка *Font* позволяет изменить шрифт примечаний.

Реализация схемы обработки

Дерево является интерфейсным элементом, посредством которого пользователь реализует <u>схему</u> <u>обработки</u>. Шаги каждого цикла связаны с созданием узлов Дерева и обработкой данных, хранящихся в узлах. При создании проекта создается единственный узел Дерева Model 1. В нем хранится стартовая модель. Дальнейший рост Дерева обусловлен действиями пользователя. Он создает новые m-узлы и запускает на них модули просмотра и редактирования модели. Последовательность m-узлов представляет эволюцию стартовой модели до ее превращение в результат интерпретации. Они содержат результаты итераций схемы обработки. Пользователь создает о-узлы и заполняет их данными наблюдений. После этого о-узел может копироваться в новые m-узлы вместе со своими данными. На оузлах запускаются модули решения прямой задачи и обращения годографов. F-узлы и i-узлы создаются автоматически модулями решения обратной задачи и томографического обращения соответственно. Далее в этом разделе описываются средства обслуживания Дерева и перечисляется набор команд контекстного меню Дерева, с помощью которых и решаются основные задачи интерпретации.

Обслуживание Дерева

36

Основные команды обслуживания Дерева, о которых упоминалось выше, находятся в меню *Processing Tree* и частично продублированы кнопками инструментальной панели Менеджера проектов. Соответствующие операции перечислены в таблице 1. Доступность некоторых команд и действие, которое они производят, зависят от того, какой узел выделен в Дереве.

Команда	Узел	Действие	
	m	Создает копию выделенного m-узла.	
	0	Начинает двухшаговую операцию копирования выделенного о-узла. Подробности в следующем пункте.	
Copy Node	f	Создает новый виртуальный f-узел (близнец), содержащий выборку лучей. Команда доступна, если исходный узел сам не является виртуальным. <mark>Подробнее</mark> .	
	i	Создает новый m-узел, и помещает в него уточненную модель из выделенного i-узла.	
Create O-node	m	Вставляет новый (<i>Create</i>) или скопированный (<i>Paste</i>) о-узел в дерево как дочерний узел выделенного m-узла.	
Paste O-node	o, f, i	Не доступна.	
Delete Node		Удаляет выделенный узел дерева вместе с дочерними узлами. Данные узлов удаляются с диска. Команда продублирована в контекстном меню Дерева.	
Expand Tree		Разворачивает все узлы Дерева обработки. Чтобы развернут выделенный узел, используйте команду <i>Expand Node</i> в контекстном меню Дерева.	
Collapse Tree		Сворачивает Дерево до корневых узлов.	
Rebuild Tree Восстанавливает Дерево по структуре данных в папке Применяется только при ошибке загрузки Дерева, или если рассогласование данных на диске с Деревом, или при ошибк Дерева обработки.		Восстанавливает Дерево по структуре данных в папке проекта. Применяется только при ошибке загрузки Дерева, или если замечено рассогласование данных на диске с Деревом, или при ошибке загрузки Дерева обработки.	

Таблица 1. Команды обслуживания Дерева обработки

Копирование о-узла

Это операция типа "копировать – вставить". Узел следует выделить и дать команду *Copy Node* (кнопка —), затем выделить целевой m-узел и выбрать команду *Paste O-node*. Альтернативный способ – перетащить

мышкой икону о-узла на целевой m-узел. Менеджер проектов выполняет копирование, а затем проверяет, не окажутся ли некоторые источники или приемники над моделью в целевом m-узле. Такая ситуация возможна для моделей с криволинейной верхней границей и подробно описана <u>здесь</u>. Если ошибочные устройства обнаружены, программа запрашивает пользователя, согласен ли он "посадить" их на дневную поверхность. Если согласен, запускается модуль, выполняющий корректировку. Если нет, – операция копирования отменяется.

Контекстное меню Дерева

Это главное операционное меню обработки – фактически, консоль пользователя. Большинство команд меню связаны с запуском модулей ХТото-LM для решения основных или сервисных задач. Набор команд меню зависит от узла, на котором оно вызвано, и состояния обработки. Команда может находиться в меню, но быть недоступна. Это означает, что запуск модуля в данный момент не разрешен, обычно потому, что блокирована одновременная работа некоторых модулей. Меняющийся от узла к узлу набор команд меню и ограничения доступа к командам обеспечивает определенную дисциплину обработки, т.е. реализует предусмотренный граф обработки. В следующей таблице в колонке "Узел/Проект" указан узел и тип проекта (I или M), на которых меню содержит команду, названную в колонке "Команда".

Команда	Узел Проект	Действие		
Работа с моделью				
View Model	т любой	Запускает графический модуль просмотра модели (Model Viewer). Относительно просмотра моделей из других проектов см. следующий пункт.		
Edit Model	т любой	Запускает графический модуль редактирования модели (Model Editor). Доступна, если нет дочерних узлов.		
Работа с системой наблюдений				
Extract Data from SRT Port	о любой	Извлекает выборку данных о наблюдениях со склада SRT-порта и создает Каталог лучей. Доступна, если нет дочерних узлов.		
View *** on Model Image	о любой	В этой и следующих командах *** означает либо Observations (I- проект), либо Spread (М-проект). Команда запускает графический модуль просмотра системы наблюдений на изображении модели.		
View *** As Ray Catalog Database	о любой	Запускает модуль просмотра Каталога лучей в виде числовых таблиц (Ray Catalog Viewer).		
View *** As TX- Curve Set	о І-проект	Запускает графический модуль просмотра Каталога лучей в виде системы годографов (TX-Curve Viewer). Команда доступна только при профильных наблюдениях.		
Edit Spread	о М-проект	Запускает графический модуль редактирования системы наблюдений (Spread Editor), если нет дочерних узлов.		
Edit Ray Catalog Database	о М-проект	Запускает модуль редактирования Каталога лучей (Ray Catalog Editor), если нет дочерних узлов.		

Таблица 2. Перечень команд меню Дерева обработки

Обращение годографов при профильных наблюдениях (подменю TX-curve Inversion)

Build Initial Velocity Distribution	о І-проект	Запускает модуль построения начального скоростного разреза путем обращения системы годографов ныряющей волны.		
Select TX-curves for inversion	о І-проект	Запускает графический модуль подготовки системы годографов отраженной или преломленной волны к обращению.		
Evaluate Reflector	о І-проект	Оценивает положение отражающего горизонта в точках постановки источников, считая лучи в этих точках вертикальными.		
Build Reflector	о І-проект	Запускает модуль построения отражающего горизонта.		
Build Refractor	о І-проект	Запускает модуль построения преломляющего горизонта.		
Preview Built Horizons	о І-проект	Запускает модуль предварительного просмотра горизонтов, построенных на данном узле.		
Решение кинематической прямой задачи и анализ решения				
Solve Forward Problem	о любой	Создает дочерний f-узел и запускает модуль решения прямой задачи (Forward Problem Solver).		
View FPS Log	о, f любой	Выводит протокол решения прямой задачи. На о-узле просматриваются протоколы запусков, окончившихся неудачей; на f-узле — протокол запуска, который привел к созданию этого узла.		
View Catalog of Traced Rays	f любой	Запускает модуль просмотра Каталога лучей (Ray Catalog Viewer) с расчетными временами, а в случае І-проекта — и с невязками.		

View ForwardfЗапускает модуль просмотра и анализа решения прямой задачиProblem Solutionлюбой(Forward Problem Viewer).

Решение обратной задачи томографии

Solve Inverse	f	Создает дочерний i-узел и запускает модуль решения обратной
Problem	I-проект	задачи (Inverse Problem Solver).
Info on Inversion	і І-проект	Выводит информацию о решении обратной задачи.
View Inverse	і	Запускает графический модуль просмотра решения обратной
Problem Solution	І-проект	задачи (Inverse Problem Viewer).

Поддержка Дерева Обработки

Expand Node	Разворачивает выделенный узел.

Delete Node	Совпадает с одноименной командой в таблице 1.
Create Package	Создает сжатый файл с данными ветви Дерева, которая завершается выделенным узлом. <u>Подробнее.</u>

Просмотр моделей из других проектов

Дерево обработки относится к открытому проекту. Данные других проектов остаются недоступными. Между тем, часто несколько проектов создаются для одних и тех же исходных данных, и сравнение моделей из этих проектов является разумным требованием. Менеджер проектов предоставляет такую возможность в обход Дерева обработки с помощью меню списка проектов. Находясь в открытом проекте, выделите нужный проект в списке проектов и выберите команду *View Model*. Она выводит на экран список m-узлов проекта. Двойной щелчок по нужной строке запустит Model Viewer для модели из этого узла.

Список активных модулей

На одном узле в некоторых случаях можно запустить более одного модуля. Могут быть одновременно активны модули, запущенные на разных узлах Дерева и даже, как сказано в предыдущем пункте, работающие с данными других проектов. Чтобы контролировать эту сложную ситуацию, Менеджер проектов поддерживает список активных первичных модулей (см. <u>Программы</u>). Список выглядит так:

Active Primary Modules 🛛 🗙						
Module	Project Name	Target				
MON 📧	Node 1					
SSV GSV	Node 5/1					
🕅 SPM		SRT Port 🕒	Minimize			
MOV 📧	Geotraverse 2011	Node 1 😰	Restore			
MOV 📧	GX-2005-Caspian Sea	Node 4 📃	Close			
M PM_N	Arctic-HBH	Project 🔯	Close All			
	/lanager 📃	Abort				

Рис. 2. Список активных модулей и меню управления

На снимке в списке 6 работающих модулей (их число не ограничено). В первой колонке указаны короткие имена модулей. Они встречаются в документации и (редко) в пользовательском интерфейсе. Полное имя выделенного модуля показано на нижней панели. Контекстное меню содержит команды управления работающими модулями (Минимизировать, Восстановить, Закрыть, Закрыть все, Остановить). О важности и использовании команд Close и Abort см. <u>Программы</u>).

6 Менеджер волн

Модуль запускается командой *Project/Wave Manager* или кнопкой панели инструментов Менеджера проектов. Главное окно модуля показано на рис. 1. На панели *Wave List* расположен собственно список волн, на панели *Drawing Attributes* – список атрибутов рисовки лучей и годографов выделенной в списке волны. Если при создании проекта Список волн не импортируется, Менеджер проектов создает Список волн по умолчанию, содержащий проходящую (diving) волну. Если задача не связана со слоистой

моделью, то работать с Менеджером волн не приходится. В противном случае, необходимый набор отраженных и головных волн должен быть создан пользователем.

🕅 Wave M	anager		- O X	
	Wave List	Drawing Attributes		
ID	Description	for wave rays	and TX-curves	
0	Diving			
1-0	Reflection		Selected	
1-1	Reflection-c	Curve view		
1-2	Head	Vodes	✓ Links	
		🔲 Node Bo	rder	
		Colors		
		Curve:	Common:	
		Node	Select	
		Border	Default	
ОК	Cancel 🕖 Help			

Рис. 1. Главное окно Менеджера волн.

Добавление волн

Список имеет контекстное меню с тремя командами:

- Добавить (Add);
- Экспортировать волны (Export Waves);
- Импортировать волны (Import Waves).

По команде *Add* выводится диалог добавления отраженной или головной волны. На рис. 2 показан момент добавления <u>обменной волны</u>, образовавшейся при отражении от горизонта 2.

New Reflected or Head Wave	3
Select wave type and horizon ID. Use additional codes for converted waves if necessary.	
Reflection Head wave Wave color Horizon ID 2	
Converted Additional codes 103 😓 Wave ID 2-103	
OK Cancel	

Рис. 2. Добавление волны.

Операционное поле диалога содержит две строки элементов управления. В первой задается тип волны, цвет волны и соответствие горизонту (поле прокрутки содержит возможные значения ID горизонта). Цвет должен быть уникальным в списке, как и код волны. Для назначения цвета следует щелкнуть по прямоугольнику *Wave Color*. Вторая строка используется только в случае обменной волны, когда пользователь поднимает флаг *Converted*. Если код обменной волны трехзначный, как в примере, следует поднять флаг *Additional Codes* (Дополнительные коды) и выбрать код в поле прокрутки. Щелчок по кнопке

ОК добавляет новую волну в список с атрибутами рисовки по умолчанию. Волны не могут быть удалены из списка, поскольку ссылки на них содержатся в данных проекта.

Две другие команды меню позволяют сохранить список волн в пользовательском файле и импортировать список из такого файла в любом проекте. Последняя операция доступна только при наличии в списке единственной проходящей волны.

Редактирование атрибутов рисовки

Речь идет о рисовке кривых, связанных с волнами, — лучей и годографов. Кривая состоит из точек (узлов) и звеньев, их соединяющих. И те, и другие могут быть сделаны невидимыми. Атрибуты рисовки включают:

- флаг рисовки точек (Points/Node);
- флаг рисовки звеньев между точками (Points/Links);
- флаг наличия бордюра у точек (Points/Node Border);
- цвет точки и звена = цвет волны (Colors/Curve/Node);
- цвет бордюра (Colors/Curve/Border).
- форма точки (кнопка);
- размер точки (кнопки);
- толщина звена (кнопка).

Речь идет о кнопках внизу панели Drawing Attributes. В верхней части панели выводится образец кривой с текущими атрибутами. Панель Colors/Common содержит два цвета, относящихся ко всем волнам. Select — это цвет кривой, выделенной на pucyнке. Default — цвет волны по умолчанию, используемый в диалоге добавления волны. Эти цвета являются зарезервированными.

Менеджер волн блокирует доступ к Менеджеру проектов во время работы. Редактирование Списка волн доступно только при отсутствии других запущенных модулей.

7 Спектр скорости

Спектр цветов скорости позволяет визуально представить величину скорости при изображении модели в графических модулях. При создании проекта спектр создается автоматически с набором цветов по умолчанию. Изменить текущий спектр можно командой *Project/Velocity Color Spectrum* главного меню Менеджера проектов. Команда запускает модуль Менеджер спектра (рис. 1а).



Рис. 1. Менеджер спектра. а) – главное окно; b) – создание нового спектра.

Главное окно изображает текущий спектр, границы скорости при старте программы (Initial Velocity) и форматная строка скорости. Диапазон скорости и формат можно изменить только в этом модуле. Изменение форматной строки делается точно так же, как при создании проекта — путем перемещения десятичной точки в форматной строке: Click+Ctrl или Click+Shift.

Спектр – это набор пар "цвет – скорость". На рисунке пара изображается цветовым прямоугольником (*линия спектра*) и форматированным значением скорости у верхней правой вершины. Так выглядит *линейчатый* спектр. Флаг Show in Continuous Mode (Вывести как непрерывный) выводит спектр в режиме непрерывного изменения цвета.

Команды редактирования собраны в контекстном меню изображения спектра (Таблица 1). Все команды, кроме одной (*Default* – Спектр по умолчанию), выводят диалоги; в каждом диалоге присутствует кнопка *Try*, позволяющая посмотреть, как изменится изображение спектра после сделанных изменений. Изменения в спектре, сделанные в сеансе редактирования, вступят в силу, если модуль будет закрыт кнопкой *Save*.

Команда	Действие
Create new	Выводит диалог Creating Spectrum для создания спектра (см. ниже).
Adjust Luminance	Выводит диалог для регулировки яркости.
Edit Color Lines	Выводит диалог <i>Line Editor</i> для редактирования цветов и значений скорости (см. ниже). Именно в этом диалоге можно изменить границы диапазона скорости.
Default	Заменяет текущий спектр спектром по умолчанию с текущими границами скорости.
Export/Import	Выводит диалог для сохранения текущего спектра в пользовательский файл (.usf) или для импорта спектра из такого файла. Файл содержит спектр полностью: цвета и значения скорости. Если диапазон скорости в файле уже, чем у текущего спектра, спектр не импортируется.

Таблица 1.	Команды	редактирования
------------	---------	----------------

C - 1		Cata	
COI	or	Sets	

Открывает диалог Color Sets для работы с наборами цветов (см. ниже).

Создание спектра

Для создания нового спектра пользователь должен определить от 2 до четырех опорных линий. Остальные линии спектра рассчитываются путем интерполяции между опорными. В диалоге *New Velocity Color Spectrum* (рис. 1b) сначала задайте общее число линий спектра (*Number of lines*), затем отметьте галочками, какие опорные линии будут использованы. Крайние линии используются всегда, убрать с них галочки нельзя. Для определения цвета линии щелкните по цветному квадратику и подберите нужный цвет в диалоге выбора цвета Windows. Значения скорости задаются только для крайних линий в полях редактирования. При этом нельзя суживать текущий диапазон скорости. Последняя установка – параметр интерполяции цветов между опорными (gamma). Его изменение смещает промежуточные цвета в сторону опорного. Чтобы посмотреть на результат, щелкните по кнопке *Try*, и новый спектр заменит исходный в главном окне модуля. Если результат не удовлетворителен, щелкните по кнопке *Back*. Для фиксации окончательного выбора, щелкните по кнопке OK.

Редактирование линий спектра

Основной способ изменения спектра – редактирование индивидуальных спектральных линий, т.е. пар цвет-скорость. Изменяя первую и последнюю линии можно расширить границы скорости. Диалог *Line Editor* представляет линии спектра в виде списка (рис. 2а), допускающего редактирование. Он вызывается командой *Edit Color Lines* или двойным щелчком по изображению спектра. Выделите строку списка и вызовите контекстное меню. Перечень команд меню приведен в таблице 2.



Рис. 2. Менеджер спектра. а – редактирование линий спектра; b – список наборов цветов в CS-файле.

Команда	Действие
Edit Value	Позволяет изменить значение скорости на выделенной линии. В частности, операция позволяет расширить границы изменения скорости. Режим редактирования включается также щелчком левой кнопкой мыши по значению скорости.

Таблица 2. Команды редактирования линий спектра

Edit Color	Позволяет изменить цвет линии в диалоге Windows. Операция выполняется также двойным щелчком.
Insert before Insert after	Вставляет новую линию о умолчанию перед или после выделенной линии. Эта линия имеет белый цвет, а скорость равна полусумме соседних значений. Далее следует отредактировать значение и цвет.
Delete	Удаляет выделенную линию спектра.

Программа следит за разрешением скорости (т.е. точностью, определяемой форматной строкой): ввод слишком близких значений скорости блокируется; изменение форматной строки, делающее значения скорости неразличимыми, блокировано.

Цветовые наборы

Обычно пользователи применяют несколько стандартных цветовых наборов (Color set) во всех своих проектах. Набор цветов не связан с конкретными значениями скорости. Для хранения цветовых наборов служат файлы формата CS. Один такой файл может хранить любое число наборов, маркированных уникальными именами. Файлы создает пользователь. Команда *Color Sets* меню главного окна модуля открывает диалог для работы с цветовыми наборами (рис. 2b). Он содержит список имен цветовых наборов в загруженном CS файле. При вызове диалога список пуст. Управление осуществляется командами контекстного меню списка и кнопками. Вот список типичных операций.

- 1. Сохранение набора цветов текущего спектра в новом файле. Используйте команды меню Add Current (набор добавляется в список с именем по умолчанию). Теперь используйте команду Edit Name для изменения имени набора и команду Save As для сохранения файла.
- 2. Добавление набора цветов текущего спектра к существующему файлу. Загрузите содержимое файла командой меню Load CS File, а затем действуйте, как в п. 1.
- 3. Просмотр цветовых наборов из файла. Загрузите содержимое файла командой меню Load CS File. Выделите имя набора в списке имен и щелкните по кнопке Try. Цвета в текущем спектре заменятся на цвета из набора. Кнопка Back возвращает спектр в исходное состояние. Если градаций скорости больше, чем цветов в наборе, "лишние" линии окрашиваются цветом по умолчанию.
- 4. Применение цветового набора из файла. Загрузите файл и выделите нужное имя в списке. Затем щелкните по кнопке *Apply*. Диалог закроется, а спектр получит цвета выделенного набора.

Черные ячейки

Если в ходе обработки возникнет ситуация, при которой значение скорости в ячейке выйдет за пределы текущего спектра, ячейка окрашивается в черный цвет, чтобы сигнализировать пользователю об ошибке в данных. Для ее решения следует либо расширить границы спектра, либо отредактировать скорость в Model Editor, либо использовать средство устранения черных ячеек в том же модуле.

8 Пакеты, архивы, версия 2

ХТото-LM поддерживает собственную систему резервного копирования и упаковки ветвей Дерева обработки в *пакеты* с целью обмена данными. Архивы и пакеты помещаются Менеджером проектов в <u>архивную папку</u>.

Пакеты

Пакеты используются для оперативного обмена информацией при обработке одних и тех же материалов на разных площадках. Пакеты могут быть использованы и в других случаях, а также при обращении в службу поддержки при возникновении программных ошибок. Пакет хранит данные одной ветви Дерева обработки. В Дереве обработки выделите узел *N*, вызовите на нем контекстное меню и выберите команду *Create Package*. В созданном пакете хранятся (1) данные узла *N* и всех узлов, являющихся прямыми предками выделенного вплоть до корневого; (2) инфраструктура проекта. Имя пакета составляется программой. Оно включает время создания, имя проекта и код выделенного узла. Менять имя нельзя. Пакет создается в архивной папке проекта. Из нее пакет можно перенести на сменный носитель, передать по сети или через Интернет.

Получатель пакета помещает его в архивную папку XTomo-LM 3 на своей рабочей станции, запускает Менеджер проектов и в меню Working Folder выбирает команду Add Project from... |Package or Archive. Команда выводит диалог Creating Project from Package or Archive (рис.1а). Назначение диалога – создать из пакета (архива) новый проект. Диалог показывает список файлов одного типа в архивной папке, т.е. либо пакетов, либо архивов. Переключатель типов находится под списком. Выделите в списке нужный файл. Имена файлов длинные, но они дублируется в подсказке. В поле Project Name выводится имя проекта из пакета (архива). Отредактируйте его, если нужно, и нажмите кнопку Create. После закрытия диалога новый проект появится в Списке проектов. В созданном проекте путь к папке импорта/экспорта, скорее всего, недействителен. Его следует исправить в свойствах проекта.

Creating Project from a	Version 2 Data Converter
Package/Archive File N 13-08-18_18-18-56_ 13-03-15_09-36-53_	The module converts data from the specified M- and O-nodes of a version 2 project into the new format and creates a new version 3 project.
 13-03-15_09-31-37_ 13-03-13_18-47-41_ 13-03-13_18-27-52_ 13-03-13_18-25-20_ 13-03-13_18-12-12_ 13-03-13_18-12-12_ 13-03-13_18-06-51_ 	XTomo-LM 2 Project Folder C:XT2WorkDir\Kara Sea Profile 4 (2008) M-Node O-Node [Cancel] Model 3 Observations 1
 Package Project Na Archive Kara Sea 	Convert Close 😢 Help
Create Delete	a

Рис. 1. Создание проекта: а – из пакета или архива; b – путем конвертации данных проекта версии 2.

Диалог можно также использовать для очистки архивной папки. Кнопка *Delete* удаляет из папки все файлы, выделенные в списке. Множественное выделение файлов осуществляется, как в Проводнике Windows.

Архивы

Архивы проектов используются для длительного хранения или перемещения данных. Архивация производится командой *Archive* контекстного меню Списка проектов. Разумеется, проект должен быть закрыт. Для разархивации следует действовать, как описано в предыдущем пункте в отношении пакетов.

Конвертация данных из проектов версии 2

46

Менеджер проектов может создать новый проект, использующий данные m-и о-узлов из проекта XTomo-LM 2.x, если эта версия установлена на компьютере. Операцию выполняет модуль, который Менеджер проектов запускает по команде меню *Working Folder*/*Add Project From |XTomo-LM 2*. Модуль блокирует доступ к Менеджеру проектов до завершения операции. Главное окно модуля показано на рис. 1b.

Кнопка справа от поля XTomo-LM 2 Project Folder вызывает браузер локальных папок. Выберите в нем папку нужного проекта версии 2. После выбора выпадающий список M-Node заполняется именами корневых узлов Дерева обработки проекта. Выберите нужный узел Model. Из списка O-Node дочерних узлов Observations выберите нужный узел. Если конвертируется только модель, очистите поле O-Node, щелкнув по ссылке [Cancel]. Если нужно, измените имя проекта в поле New Project Name. Щелкните по кнопке Convert.

Созданный проект имеет такой же Список волн, как исходный проект и спектр цветов скорости по умолчанию. Возможно, придется скорректировать путь к папке импорта/экспорта в свойствах проекта.

47

Модель среды

1 Изображение модели

В этом разделе пользователь знакомится с первым <u>графическим модулем</u> – модулем просмотра модели, Model Viewer, коротко MOV. На его примере подробно будет рассмотрен пользовательский интерфейс графических моделей этого типа.

Изображение модели. Дизайн главного окна

Изображение модели включает решетку, ячейки которой окрашены цветом. Цвет ячейки извлекается и <u>цветового спектра</u> скорости в соответствии со значением скорости в ячейке. Линии решетки и окраску ячеек можно отключать. На рис. 1, где показано главное окно MOV, линии очень густой решетки скрыты, чтобы не искажать цвет, спектр переключен в непрерывный режим. Жирными линиями показаны сейсмические горизонты.



Рис. 1. Изображение модели в модуле Model Viewer.

В центре главного окна расположен *планшет* – поверхность для отрисовки изображения модели – полного, как на рис. 1, или *кадра* в режиме увеличения. Левое и нижнее поля планшета содержат надписи (имена осей и координаты), а также полосы прокрутки. Под нижним полем находится *статусная панель* для отображения контекстной информации, связанной с текущим положением курсора: координаты

точки X и Z, скорость в ячейке V и индексы ячейки Row (ряд) и Col (колонка). В левой части статусной панели выводятся подсказки к кнопкам и пунктам меню, иногда – информация о длительной операции. Правое поле планшета содержит две панели, размеры которых можно изменять, перетаскивая разделительную линию. Верхняя панель содержит изображение спектра скорости, нижняя изображает профиль скорости V(z) вдоль колонки, которая в данный момент времени находится под курсором (на рисунке Col = 266).

Меню

48

Органы управления модулем включают главное меню и кнопки инструментальной панели, а также контекстные меню планшета, спектра и профиля скорости. Меню планшета рассматривается в следующем разделе. Меню спектра скорости содержит переключатель Line/Continuous (Линейчатый/Непрерывный) и команду *Hide* (Спрятать), скрывающую спектр. Меню профиля скорости позволяет переключать способ представления V(z). Пользователь может выбрать между кусочно-линейным представлением и представлением в виде ступенчатой функции. Список команд главного меню приведен в Таблице 1.

Команда	Действие		
	Меню File		
Reload Model	Снова загружает модель из файла модели, если он был изменен редактором модели в течение сеанса работы.		
Export Model Image	Вызывает диалог для экспорта изображения модели в графический файл. <u>Подробнее</u> .		
Export Model to ASCII Files	Вызывает диалог для экспорта модели и ее компонентов в текстовые файлы.		
Exit	Выход из программы.		
	Меню View		
Zoom out	Снимает увеличение изображения. <u>Подробнее</u> .		
Decrement Zoom	Уменьшает увеличение на один шаг. <u>Подробнее</u> .		
X, Z, V under Cursor	Включает/выключает вывод контекстных данных из статусной панели в окне подсказки непосредственно рядом с курсором.		
Color Spectrum	Переключатель Показать/Спрятать для изображения спектра скорости.		
Right Margin	Переключатель Показать/Спрятать для правого поля планшета.		
Velocity Profile on a Row	Переключатель Показать/Спрятать для окна, содержащего горизонтальный профиль скорости вдоль ряда решетки под курсором.		
Repaint at Resize Time	Переключатель режима перерисовки планшета при изменении размеров окна. По умолчанию: не перерисовывать. В другом режиме программа пытается перерисовать окно в ходе изменения размеров окна. Этот режим имеет смысл включать только для редкой решетки.		
Update View	Перерисовывает текущее содержимое планшета.		
Меню Properties			

Таблица	1. Коман	ды главного	меню
---------	----------	-------------	------

Grid Properties	Выводит диалог с параметрами изображения модели и ее свойствами (см. ниже).
Horizon List	Выводит Список горизонтов модели (см. ниже).
Rubber Band Properties	Выводит диалог для регулировки цвета и толщины линии резинового контура.
Scroll Properties	Выводит диалог для регулировки инкрементов полос прокрутки. Инкременты показывают, на сколько сдвигается кадр при щелчке по кнопкам полосы прокрутки. Задаются в процентах к измерению кадра.
	Меню Help
Help TOC	Выводит оглавление (Table of Contents) и раздел с обзором XTomo-LM.
Model Viewer	Выводит первый раздел данной главы.
Hot Keys	Выводит информацию о <u>быстрых клавишах</u> перемещения и выделения.
About	Выводит информацию о продукте и модуле.

Свойства решетки

Команды меню *Properties* выводят информацию о свойствах модели, решетки и изображения. Диалог *Grid Properties* (Свойства решетки) показан на рис. 2а.



Рис. 2. Диалоги, вызываемые из меню Properties.

а – свойства решетки; b – список горизонтов; с – пустое пространство над решеткой.

Если флаг Paint Grid Cells (Заливать ячейки) поднят, ячейки заливаются цветом в соответствии со значением скорости и цветовым спектром. В противном случае, выводятся только линии решетки. Флаг Show Grid Lines (Показать линии решетки) управляет выводом линий решетки. Переключать флаги можно и без вызова диалога, если воспользоваться выпадающим меню соответствующей кнопки на панели инструментов.

На панели Special Colors можно изменить цвета линий решетки и выделенных ячеек. Панель Space above Grid позволяет изменять размер пустого пространства над верхней границей модели. Оно не имеет никакого физического смысла и используется для вывода символов источников и приемников, которые обычно располагаются на дневной поверхности (рис. 2с). Размер пустой полосы задается в процентах к вертикальному размеру прямоугольника модели. Панель *Horizon View* позволяет изменить цвет и толщину линии сейсмического горизонта. Стрелочка справа открывает дополнительные сведения о решетке: размер решетки (число строк и столбцов); фактический диапазон скорости, который может быть

уже от заявленного в Менеджере спектра и в свойствах проекта; минимальные расстояния между линиями решетки в абсолютных единицах и относительно разрешения.

Диалог Seismic Horizon List (рис. 2b) выводит <u>список горизонтов модели</u>. Для каждого горизонта выводится ID и номер h-линии. Для выделенного горизонта в поле *Wave Association* перечисляются волны, соответствующие этому горизонту в Списке волн.

2 Увеличение и выделение

Инструменты выделения и увеличения называются *селектором* и *лупой*. Селектор позволяет выделить (select) элементы изображения для редактирования и других действий. Оба инструмента используют *резиновый контур* и его меню резинового контура или *рк-меню*.

Резиновый контур

50

Резиновый контур работает так. Нажмите левую кнопку мыши и перетащите точку, на которую указывает курсор, в направлении, отличном от горизонтального и вертикального. При этом на экран выводится прямоугольный контур. При отпускании мыши у правого нижнего угла контура выводится рк-меню с командами увеличения (Magnify...) и выделения (Select...). На рис. 1 показаны рк-меню и меню планшета.



Рис. 1. Выделение селектором подрешетки: а – резиновый контур и рк-меню; b – контекстное меню планшета без выделения; с – то же меню при наличии выделения.

Опции выделения

Выделять можно только стандартные <u>области решетки</u>. Стандартная область однозначно определяется либо заданной точкой планшета (ячейка, ряд, колонка, слой), либо заданным прямоугольником (подрешетка, полоса). Области первого типа выделяются командами меню планшета, которые используют точку, по которой был выполнен щелчок правой кнопкой мыши (рис. 1b). Области второго типа выделяются командами рк-меню (рис. 1a), использующими прямоугольник резинового контура. Выделенные области окрашиваются цветом выделения, заданным в <u>свойствах решетки</u>. Под планшетом появляется описание выделенной подрешетки, которое выглядит примерно так: *Row 14 - 54; Col 45 - 67*. В любой выделенной подрешетке можно посмотреть диапазон изменения скорости и ее среднее значение. Для этого следует применить команду *Velocity in Selection* меню планшета (рис. 1c). Как видно из рис. 1b и 1с, набор команд меню планшета зависит от наличия выделения.

Перед каждым новым выделением старое должно быть отменено. Это можно сделать командой Unselect в меню планшета, кнопкой панели инструментов или двойным щелчком по планшету. Еще одна опция — выделение в диалоге (команда Select in Dialog на рис. 1b и 1c). Диалог показан на рис. 2.

51

Subgrid Selector				×
🗯 Sub	grid Kind	Horisontal strip	\sim	
Left Column	1	Right Column	448	*
opper now	OK	Cancel		•

Рис. 2. Выделение в диалоге.

В выпадающем списке на верхней панели выбирается тип подрешетки, а в полях редактирования с прокруткой задаются номера колонок и рядов, ограничивающих подмножество решетки (они включаются в подмножество). Такой способ удобен при работе с густыми решетками или, когда положение подрешетки точно известно заранее. Диалог доступен и при наличии текущего выделения, развыделения не требуется.

Увеличение и прокрутка

Принцип увеличения состоит в растягивании содержимого контура на весь планшет. Команды увеличения (их три) находятся в рк-меню (рис. 1а). Команды горизонтального и вертикального увеличения реализуют принцип увеличения только в одном направлении. Увеличение можно повторять последовательно до тех пор, пока реальные размеры области не выйдут на уровень разрешения. Если изображение увеличено, его прокрутка в пределах планшета обеспечивается следующими средствами:

- полосами прокрутки (вертикальной и горизонтальной);
- колесиком мыши (вертикально или при утопленной клавише Shift горизонтально);
- перетаскиванием изображения в планшете с утопленной клавишей Ctrl (в любом направлении).

Для отмены увеличения используйте команду *Zoom out* в меню *View* или контекстном меню планшета. Увеличение можно снимать по шагам командой *View*/*Decrement Zoom*. Каждая из этих команд продублирована кнопкой инструментальной панели.

Быстрые клавиши

Некоторые операции выделения и увеличения можно выполнить без меню с помощью быстрых клавиш (таблица 1).

Операция	Способ
Снять увеличение	Ctrl + Z
Прокрутка под лупой	Ctrl + перетаскивание планшета
Выделить ячейку	Двойной щелчок
Выделить колонку	Ctrl + Двойной щелчок
Выделить ряд	Shift + Двойной щелчок
Развыделить все	Двойной щелчок по планшету
Выделить подрешетку (особенно, когда она не помещается на экране)	 Двойной щелчок по ячейке у левой верхней вершины подрешетки (ячейка будет выделена); Ctrl + Двойной щелчок по ячейке у правой нижней вершины

Таблица 1. Альтернативные способы работы с лупой и селектором

Выделенная колонка

Если в модели выделена колонка, становятся доступными две последних команды меню планшета (рис. 1c). Команда Velocity Inversion Point проверяет, есть ли в колонке инверсия скорости. Команда Export Velocity column добавляет колонку в указанный файл формата <u>VC</u>.

При наличии выделенной колонки вертикальный профиль скорости на правом поле планшета приобретает новые свойства: (1) выводится профиль скорости только для выделенной колонки независимо от положения курсора; (2) под графиком выводится номер выделенной колонки; (3) если курсор перемещается над профилем скорости, в окне подсказки выводятся координаты (Z, V). Аналогично ведет себя окно с горизонтальным профилем, когда в решетке выделен ряд.

3 Экспорт

52

Экспорт в ASCII файлы

Компоненты модели могут быть выведены в текстовый файл с целью обмена данными с другими приложениями. Команда File/Export Model to ASCII File выводит диалог, показанный на рис. 1.

SCII Expo	rter	×
A	Export to ASCII files is a way to expose internal XTmo-L other software, in particular, to presentation graphic to the option needed from the drop-down list.	M data to ols. Select
Data to	Export	
Velocity	y V(X,Z) at grid nodes to DAT file	~
Export F	ile Name	2
C:\XTLN	/l3_Impex\Okhotsk Sea 2008\vel345.dat	
	Export 😢 Help	

Рис. 1. Диалог экспорта в текстовые файлы с кодировкой ASCII.

Выпадающий список Data to export (данные для экспорта) включает такие опции:

- скорость V(x, z) в узлах решетки в файл формата VFT;
- скорость V(x, z) в узлах решетки в файл формата DAT;
- горизонты модели в файл формата MG;
- горизонты модели в файл формата BLN.

<u>VFT</u> и <u>MG</u> – это форматы XTomo-LM для скорости на криволинейной решетке и набора кривых соответственно. Форматы <u>DAT</u> и <u>BLN</u> используются для хранения семейств кривых рядом других приложений, в т.ч. Surfer[™]. При экспорте горизонтов флаг *Include Model Top* позволяет включить в число горизонтов верхнюю границу модели. Для выполнения экспорта выберите нужную опцию, а затем – имя выходного файла и щелкните по кнопке *Export*. Диалог выбора файла при первом вызове открывает папку импорта/экспорта проекта. Еще одна функция экспорта описана в предыдущем разделе: <u>добавление</u> скоростной колонки в файл формата VC.

Экспорт в графические файлы

Изображение модели в графическом модуле можно вывести в графический файл. Это не просто копирование содержимого планшета. Во-первых, пользователь может экспортировать любую прямоугольную подобласть модели, во-вторых, настроить размеры изображения, задать оси с делениями и надписями, заголовки рисунка, шрифты. Диалог *Image Export* выводится командой *File*/*Export Model Image*. На рис. 2 показаны обе вкладки диалога.

Image Export: Model	Image Export: Model	
File, Image Axis, Captions	File, Image Axis, Captions	
By default, model domain to export is the one in program's main window. Change it by editing coordinates on the Domain panel.	☑ Draw Horizontal Axis ☑ Draw Vertical Axis	
File	Location: Ticks 21 🚖 Location: Ticks 11 🚔	
Name	Top Name O Left Name	
C:\XTLM3_Impex\model_image.bmp	Bottom Distance, km Right Elevation, km	
Graphic format BMP Browse	Draw Coordinate Lines	
Domain in Real Coordinates Default Image pixel size Horizontally: -1.000 to 101.000 Width 713	All axis have the same width 1 + and use for labels the same Font Captions	
Vertically: -20.000 to 0.400 Height 435	Caption 1 (Main) Font	
Velocity Color Sprectrum	Model Image	
	Caption 2 (Additional) Font	
Include Pixel Width 17 Pixel Height 160 Barentz Sea Survey 123		
Create Preview Export Close 2 Help Create Preview Export Close 2 Help		
3	b.	

Рис. 2. Экспорт в графический файл. а – вкладка 1; b – вкладка 2.

Экспорт изображения обычно проводится в три шага:

- 1) формирование задания (ввод данных в поля диалога и их или редактирование);
- 2) создание изображения (кнопка Create) и предварительный просмотр (кнопка Preview);
- 3) экспорт в файлы указанных форматов (кнопка Export).

Назначение имени файла и выбор формата можно отложить до шага 3). На панели Domain in Real Coordinates задаются диапазоны изменения координат, определяющие область модели. По умолчанию они совпадают с областью, которую отображает текущий кадр на планшете. Ссылка Default

восстанавливает область по умолчанию. При редактировании полей их значения автоматически корректируются, если они задают более широкую область, чем прямоугольник модели.

На панели *Image Pixel Size* определяется размер изображения в пикселях. По умолчанию он совпадает с размером планшета. На панели *Velocity Color Spectrum* следует отметить, включать ли в изображение спектр (флаг *Include*). Можно изменить его размеры, если необходимо.

На второй вкладке (рис. 2b) заполняются параметры вывода осей. Флаги Draw Axis означают "рисовать/не рисовать ось". Каждой оси отвечает своя панель, в полях которой задаются ее положение по отношению к модели (флаги Top/Bottom или Left/Right), число делений оси (Ticks) и название оси (Name). Ниже задаются ширина линии оси и шрифт вывода надписей. Чтобы посмотреть, какой выбран шрифт, наведите курсор на нужную ссылку Font. Свойства шрифта появятся в окне подсказки. Панель Captions служит для задания двух заголовков изображения и их шрифтов. Если поле заголовка пусто, он не выводится. После заполнения полей щелкните по кнопке *Create*. Когда изображение готово, становятся доступными остальные кнопки управления. Кнопка *Preview* выводит изображение на экран с помощью приложения, закрепленного в Windows по умолчанию для файлов типа BMP. Теперь можно выбрать файл для экспорта (ссылка *Browse*), и графический формат. Доступны 4 формата файлов BMP, GIF, PNG и JPG без сжатия, каждый с глубиной цвета 24 бита. Можно вывести изображение последовательно в файлы всех форматов.

4 Редактирование модели

Model Editor (MED)

54

Этот и остальные разделы главы посвящены модулю Model Editor (MED) – редактору модели. Он запускается командой меню Дерева обработки на корневом узле без потомков. При наличии дочерних узлов модель можно только просматривать. MED представляет собой <u>графический модуль</u>, реализующий графическое редактирование. Он включает всю функциональность модуля Model Viewer, включая экспорт. Общие средства поддержки редактирования включают:

- загрузку исходной модели в любой момент редактирования (команда File/Reload);
- сохранение текущего состояния в любой момент редактирования (команда File/Save);
- возможность отказа от сделанных изменений в конце сеанса редактирования;
- поддержка стека последних изменений и операций Назад (отмена) и Вперед (возврат).

Команды редактирования помещены в меню *Edit* (главное меню), рк-меню и контекстное меню планшета. Операции редактирования модели рассматриваются в следующей последовательности:

- изменение густоты решетки (частоты линий);
- изменение скорости;
- изменение геометрии решетки.

Изменение модели

В предыдущем пункте скорость и геометрия решетки перечислены как отдельные компоненты модели. Конечно, это разделение условно, ведь скорость задается в узлах решетки. Часто решетка рассматривается как средство дискретизации для задания непрерывной функции скорости. При этом переход от одной решетки к другой в силу непрерывности не является существенным, если только обе решетки достаточно густые. В ХТото-LM решетка может рассматриваться и как средство дискретизации, и как способ описания структурных неоднородностей. Поэтому при преобразованиях модели важно понимать, что именно происходит "под капотом".

Например, что происходит при внедрении (импорте) скоростной колонки C = { (z_k , v_k), k = 1,2,...,n }, из VCфайла в модель? Ответ: в решетке определяется вертикаль U с абсциссой, ближайшей к значению х, указанному в VC-файле; колонка C пересчитывается на новую z-сетку, образованную узлами решетки на U; пересчет происходит по-разному в зависимости от того, как трактуется скоростная колонка: как ступенчатая функция или как кусочно-линейная (подробнее здесь). Если речь идет о формировании скорости на решетке по набору скоростных колонок, то каждая из них встраивается в решетку, как описано выше, а затем в каждом ряду решетки скорость восполняется с помощью линейной интерполяции. Восстановить структурные особенности, которые оказались утраченными в ходе этой операции, должен пользователь, используя все средства редактирования модели. При описании других трансформаций модели их точный смысл будет разъясняться в каждом конкретном случае.

Изменение верхней границы модели

Эта операция (если она необходима) является первой в логике обработки XTomo-LM. Ее можно осуществить только в начале обработки, когда в Дереве имеется только один узел: Model 1 со стартовой моделью. Редактирование верхней границы модели в других корневых узлах запрещено. Именно в этот

момент обработки в модель можно ввести нивелировочный разрез. Только при этой операции прямоугольник модели (наименьший прямоугольник, содержащий модель) может измениться по сравнению с тем, что указан в свойствах проекта: его верхнее основание может опуститься. Выполнение операции не отличается от стандартных операций редактирования или импорта h-линий. Подробности в разделе <u>Изменение геометрии решетки</u>, в частности, <u>здесь</u>.

5 Изменение частоты решетки

Команды

Частота линий решетки определяет детальность, с которой задаются скорость и форма h-линий. Все операции изменения частоты линий относятся к подобласти модели. Сначала следует выделить стандартную подобласть с помощью <u>селектора</u> или контекстного меню планшета, а затем (снова) вызвать меню планшета и выбрать в нем одну из команд, перечисленных в таблице 1. В колонке "Область" указано, для каких выделенных подобластей данная команда доступна.

Команда	Область	Действие	
Insert Rows	ряд	Вставляет указанное число h-линий внутрь ряда, в т.ч. с переменным шагом (см. ниже <u>)</u> . Значения скорости на новых h-линиях рассчитываются путем линейной интерполяции.	
Insert Columns	колонка	Вставляет указанное число вертикалей внутрь колонки, в т.ч. переменным шагом (см. ниже). Значения скорости на новы вертикалях рассчитываются путем линейной интерполяции.	
Delete Selected	ряд, колонка, полоса	Удаляет из решетки все выделенные ряды или колонки.	
Double Number of Rows	ряд, h-полоса	Удваивает число рядов в выделенной подобласти.	
Halve Number of Rows	h-полоса	Уменьшает вдвое число выделенных рядов.	
Double Number of Columns	колонка, v-полоса	′ Удваивает число колонок в выделенной подобласти.	
Halve Number of v-полоса Уменьшает вдвое число выделенных		Уменьшает вдвое число выделенных колонок.	

Таблица 1. Команды изменения густоты решетки в меню планшета файла

Вставка рядов и колонок

Команда Insert Rows выводит диалог, показанный на рис. 1. Пользователь должен указать число N вставляемых h-линий и модификатор расстояния M. M – это действительное число из интервала [0.5, 2.0]. При M = 1 вставленные h-линии располагаются на одинаковых расстояниях друг от друга. В противном случае расстояния будут увеличиваться сверху вниз при M > 1 или уменьшаться сверху вниз в геометрической прогрессии со знаменателем M.

55



Рис. 1. Диалог вставки h-линий.

Вставка колонок происходит аналогично. При вставке рядов и колонок, а также при удвоении их числа возможны <u>ошибки разрешения</u>. При возникновении ошибки операция отменяется, решетка остается прежней.

6 Изменение скорости

56

<u>Диалог Editing Velocity</u> – <u>Описание операций</u> – <u>Редактирование на месте</u> – <u>Копирование скорости</u> – <u>Замена</u> <u>скорости в столбце решетки</u> – <u>Замена скорости на всей решетке</u> – <u>Устранение черных ячеек</u>

Диалог Editing Velocity

Большинство операций изменения скорости выполняется в диалоге *Editing Velocty*. Изменения скорости относятся к выделенной подобласти решетки. После выделения выберите в контекстном меню планшета команду *Edit Velocty*. В момент вывода на экран диалог показывает вкладку со списком операций редактирования (рис. 1а). Доступность операций зависит от типа выделенной подобласти. После выбора варианта открывается вторая вкладка с деталями операции (рис. 1b). Здесь пользователь уточняет задачу путем выбора нужного варианта или ввода информации. После щелчка по кнопке ОК операция выполняется. Измененные значения скорости не должны выходить за границы спектра. Если это происходит, значение скорости заменяется на ближайшую границу диапазона без извещения пользователя. Если флажок *Unselect* поднят, выделение области снимается сразу после выполнения операции.

Editing Velocity X	Editing Velocity	\times
Options Options Assign a Value Interpolate between Subgrid Corner Cells Interpolate between Subgrid Edges Top to Bottom Interpolation with Power Function Continue onto Subgrid Continue from a Column onto Grid Modify by Smooth	Options Operation Interpolation between Corner Cells Edit or type velocity values in corner cells. Values in all other cells will be computed by interpolation. 1700.00 V1 9000.00 V3 If V falls out of the spectrum range properties, it is forced to take up the nearest limit value. Edit is the spectrum range properties in the spectrum range properties in the spectrum range properties.	5)
Unselect OK Cancel 😢 Help	Unselect OK Cancel 😢 He	lp

Рис. 1. Диалог редактирования скорости. а) список операций; b) — задание на операцию.

Описание операций

raomiga 1. onepagin pegannipobanni enopoenno gnanore cannig reloce	Таблица 1. Операции	редактирования	скорости в	диалоге <i>Е</i> с	diting V	'elocty
--	---------------------	----------------	------------	--------------------	----------	---------

NՉ	Операция	Описание
1	Assign a Value	Присвоить значение. Во всех выделенных ячейках значение скорости полагается равным значению, введенному пользователем в поле редактирования. Присвоение значение можно выполнить и без диалога. На изображении цветового спектра скорости поместите курсор на нужное значение скорости (значения скорости выводятся в окне подсказки), щелкните правой кнопкой и в контекстном меню спектра выберите команду Assign to Selected. Вместо вызова меню можно выполнить двойной щелчок.
2	Interpolate between Subgrid Corner Cells	Интерполяция между угловыми ячейками. Пользователь вводит скорость в поля, соответствующие угловым ячейкам области. Скорость в остальных ячейках рассчитывается посредством линейной интерполяции четырех значений.
3	Interpolate between Subgrid Edges	Интерполяция между крайними колонками или рядами. Опция выбирается из выпадающего списка. Если выбрана интерполяция между колонками, значения скорости V в остальных ячейках рассчитывается путем линейной интерполяции значений в концевых ячейках каждого ряда. Во втором случае V рассчитывается путем интерполяции между крайними ячейками колонки.
4	Top to Bottom Interpolation with Power Function	Операция применима к колонке или вертикальной полосе. После выполнения скорость в каждой выделенной колонке будет возрастать как заданная степень глубины от значения V _{min} в верхней ячейке до значения V _{max} в нижней ячейке. Показатель степени выбирается пользователем из интервала [0.1, 1.1]. Если V _{min} ≥ V _{max} , колонка, остается неизменной.
5	Continue onto Subgrid	Продолжение скорости с границы области вовнутрь. Пользователь выбирает элемент границы из списка. Например, если выбрана самая

		левая (leftmost) колонка, скорость в ячейке вне этой колонки будет равна ее значению в самой левой ячейке того же ряда. Если выбран верхний (top) ряд, скорость в ячейке вне этого ряда будет равна ее значению в самой верхней ячейке той же колонки. Варианты выбираются из выпадающего списка.
6	Continue from a Column onto the Grid	Продолжение скорости с колонки на всю решетку. Опция доступна, только если выделена одна колонка. Вариант продолжения определяется направлением от выделенного столбца: влево, вправо, в обе стороны. Вертикальный профиль скорости в любой колонке слева, справа или всюду становится таким же, как в выделенном столбце. Варианты выбираются из выпадающего списка.
7	Modify by	Изменить скорость на Можно выбрать абсолютное или относительное изменение. В первом случае введенная в поле редактирования поправка добавляется к значению скорости в ячейках выделенной области. Во втором случае значение в поле редактирования понимается как число процентов, на которое надлежит изменить скорость в ячейках области. Вариант выбирается с помощью радио-кнопок.
8	Smooth	Сглаживание. Сглаженная методом скользящего среднего скорость имеет в ячейке (col, row) выделенной области значение, равно среднему значений исходной скорости в ячейках (k, j), где k пробегает множество [col – Rx, col + Rx], а j – интервал [row – Rz, row + Rz]. Параметры Rx и Rz, определяющие степень сглаживания, задаются пользователем. Если выделен ряд, доступно также сглаживание скользящими медианами – для устранение не имеющих физического и геологического смысла горизонтальных осцилляций скорости.

Редактирование "на месте"

Работать с диалогом не всегда удобно. Например, если требуется изменить значения скорости в изолированных группах ячеек, вызов диалога сильно замедляет работу. Пользователь может воспользоваться инструментом Velocity In-place Editor (VIP), который представляет собой плавающее по планшету окно, показанное на рис. 2.

In-place Velocity Editor		
Assign V	~	
V 4.800	🗸 ОК	
P 5 🗘 %	? Help	
Unselect	4412.40	

Рис. 2. Velocity In-place Editor.

Инструмент вызывается командой *Invoke Velocity In-place Editor* контекстного меню планшета или кнопкой инструментальной панели. В отличие от диалога, его можно вызвать и в отсутствии выделения. В любой момент пользователь может переключаться между VIP и главным окном модуля, чтобы увеличить изображение или выделить новую область модели. Правда "висеть" на экране все время VIP не может, поскольку блокирует многие операции редактирования модели.

Перечень операций находится в выпадающем списке сверху. Перечень зависит от формы выделенной решетки. VIP реализует только часть операций из Таблицы 1. Помимо списка операций, VIP содержит два поля редактирования: для значения скорости (V), которое следует присвоить ячейкам выделенной области, и для процента, на который скорость следует увеличить или уменьшить (P). Кнопка *OK* выполняет операцию. Флажок *Unselect* имеет тот же смысл, что и в диалоге. При выборе операций относительного

59

изменения (Increase, Decrease) флажок опускается, чтобы можно было несколько раз подряд нажать на кнопку OK. Под кнопкой Help выводится значение скорости в ячейке, на которую указывает курсор.

Копирование скорости

Пользователь может скопировать распределение скорости из выделенной подрешетки S в подрешетку T того же типа в другом месте модели. S и T не должны пересекаться. Понятно, что T может быть того же типа, но иметь другую форму. Ячейки, а значит, и значения скорости в S и T сопоставляются по их положению относительно вершины подрешетки, т.е. левой верхней ячейки. Операция выполняется следующим образом. После выделения S в меню планшета выбираем команду *Copy Velocity*. На экран выводится указание, каким образом следует идентифицировать T. Идентификация всегда делается двойным щелчком, сообщение указывает место щелчка. Оно зависит от типа подрешетки. Например, для копирования колонки S, надо щелкнуть по любой ячейке колонки T, для подрешетки общего вида – по вершине T и т.д. Не закрывая сообщение, выполните двойной щелчок. Он запускает копирование. Реакция пользователя на сообщение должна быть достаточно быстрой – не дольше 10 секунд. В противном случае сообщение исчезает и запрос на копирование аннулируется. Истекшее время показано прогрессором у нижнего края сообщения.

Замена скорости в столбце решетки

Model Editor позволяет заменить скорость в выделенной колонке решетки на **первую** скоростную колонку в указанном VC-файле. Выделите нужный столбец и подайте команду *Import Velocity Column* контекстного меню планшета. Она открывает диалог *Import Velocity Column*, в котором следует выбрать файл и указать, как трактовать скоростную колонку: как ступенчатую или кусочно-линейную функцию. Щелчок по кнопке ОК в диалоге запускает операцию. Значение абсциссы скоростной колонки в файле не используется. О том, как происходит замена, читайте <u>здесь</u>.

Замена скорости на всей решетке

Пользователь может полностью заменить скорость в модели, оставляя решетку неизменной. В качестве источника может выступать (1) скорость из другого m-узла проекта или (2) скорость, заданная набором скоростных колонок, хранящихся в VC-файле. Операции запускаются двумя командами из подменю меню *Edit*/*Replace Velocity with...*, каждая из которых открывает диалог для получения дополнительной информации от пользователя. В случае (1) пользователь выбирает m-узел, а в случае (2) – VC-файл и способ трактовки скоростных колонок. В случае (1) скорость в колонке решетки является ступенчатой функцией, согласно <u>определению</u>.

Устранение черных ячеек

Ячейки, окрашенные черным, сигнализируют о нарушении корректности данных. Подробности см. <u>здесь</u>. В меню *Edit* помещена команда, которая проверяет наличие ошибочных ячеек, т.е. тех, в которых значения скорости выходят за пределы диапазона, указанного в свойствах проекта и Менеджере спектра. В ходе проверки такие значения скорости заменяются на значение ближайшей границы диапазона.

7 Изменение геометрии решетки

<u>Что это значит?</u> – <u>Область возмущения (GPA)</u> – <u>Интерфейс определения GPA</u> – <u>Перемещение h-линии</u> – <u>Редактирование h-линии</u> – <u>Импорт h-линии</u> – <u>Изменение верхней границы модели</u> – <u>Сейсмические горизонты</u> – <u>Изменение геометрии и скорость</u>

Что это значит?

Мы говорим об изменении геометрии решетки, если одна из h-линий изменила положение или форму, либо в решетку была встроена новая h-линия. Соответственно, основными операциями изменения геометрии являются вертикальное перемещение (сдвиг), редактирование и импорт h-линии из файла. Изменение формы одной h-линии влечет перестройку, по крайней мере, части решетки. Пример возмущения решетки, вызванного изменением формы h-линии, показан на рис. 1.



Рис. 1. Возмущение решетки, вызванное изменением формы сейсмической границы. а – исходный горизонт; b – горизонт после редактирования.

Для описания эффекта, показанного на рис. 1 используется термин *возмущение решетки*. При редактировании или импорте h-линии эта линия, по крайней мере на время, становится "специальным объектом", форма которого неизменна, в то время как соседние линии могут рассматриваются как "обычные" и меняются или замещаются в автоматическом режиме. Таким образом, некоторые h-линии формируют геометрию решетки; они образуют <u>каркас</u> модели; обычно они "подстилают" сейсмические горизонты; их можно изменять только целенаправленно, действуя "вручную". Остальные h-линии нужны только для задания скоростной функции с достаточно точностью. На рис. 1 редактируемый горизонт выделен. *Выделить h-линию* – значит выделить ряд, для которого она является кровлей.

Область возмущения решетки (GPA)

Возмущение решетки всегда ограничивается горизонтальной полосой, называемой областью возмущения решетки (Grid Perturbation Area, GPA). Изменяемая или импортируемая h-линия должна лежать строго внутри GPA. На рис. 1 GPA ограничена жирными черными линиями. Ограничение возмущения, в частности, обеспечивает возможность встраивания в модель нескольких горизонтов без искажения их формы. Понятно, что, GPA не может содержать внутри более одного горизонта, а если содержит один, то только он служит объектом редактирования.

Возмущение решетки происходит в соответствии со встроенным алгоритмом, относительно которого достаточно знать следующее:

- 1) общее число h-линий в GPA сохраняется;
- при сдвиге h-линии H происходит уплотнение существующих линий с одной стороны от H и разрежение – с другой, – вплоть до возникновения <u>ошибки разрешения</u>;
- при редактировании или импорте Н линий число линий выше и ниже Н пропорционально минимальным расстояниям от Н до границ GPA; если эти расстояния слишком малы, возникает ошибка разрешения.

Интерфейс определения GPA

Область возмущения определяется номерами верхней и нижней h-линии. Проще всего задать GPA с помощью резинового контура, подобно тому, как выделяется горизонтальная полоса решетки. В рк-меню для этого предусмотрена команда *Define Grid Perturbation Area*. Другой способ – вызвать диалог командой *Edit/Set Grid Perturbation Area* или кнопкой панели инструментов. Диалог позволяет ввести номера границ GPA непосредственно или увидеть номера границ текущей области возмущения. Если одно из полей ввода оставлено пустым, существующая область аннулируется. В диалоге можно также изменить атрибуты рисовки границ GPA. Быстрые команды создания/отмены GPA содержатся в выпадающем меню кнопки

Перемещение h-линии

Выделите h-линию и в меню пданшета выберите команду *Move H-line.* На экране появляется диалог *Move Controller* (рис. 2). В поле Z задается шаг перемещения. При каждом щелчке по стрелке горизонт сдвигается на величину шага в направлении стрелки. Если величина сдвига известна заранее, ее можно сразу ввести в поле редактирования, и тогда достаточно одного щелчка по стрелке. Когда кривая установлена в нужное положение, закройте диалог. Отмена перемещения (по шагам) осуществляется кнопкой *Undo*.



Рис. 2. Move Controller

Редактирование h-линии

Для редактирования выделенной h-линии в меню планшета следует выбрать команду *Edit H-line*. По этой команде Model Editor вызывает утилиту <u>UMG</u>, используемую в особом режиме редактора h-линии (H-Line Editor), коротко UMG/HE. В этом пункте будут указаны отличия интерфейса UMG/HE от случая, когда UMG запускается Менеджером проектов для создания и редактирования каркаса модели. За правилами редактирования кривой отсылаем к соответствующим секции описания UMG. На рис. 3 показано, как выглядит главное окно UMG/HE. Окно изображает область возмущения (GPA) и в ней — редактируемую кривую на равномерной сетке UMG. Число узлов сетки равно min(N, M_{max}), где N — число вертикалей в модели, M_{max} — максимальное число узлов UMG. Таким, образом, вообще говоря, h-линия переносится не точно, а пересчитывается на сетку UMG.



Рис. 3. Главное окно редактора h-линий.

На инструментальной панели сохранено только меню *Curve*, но добавлены две новые кнопки: кнопка импорта кривой и кнопка *OK* (на рис. 3 они обведены). Таким образом, весь инструментарий редактирования кривой полностью сохранен. Для отказа от редактирования следует закрыть окно системной кнопкой, а для сохранения результата – щелкнуть по кнопке OK. В обоих случаях возвращаемся в Model Editor, причем в случае сохранения отредактированная h-линия будет встроена в полосу возмущения. Отметим, что импорт кривой из MG-файла также считается операцией редактирования.

Импорт h-линии

После задания GPA выберете команду *Import H-line* из меню *Edit* (команда продублирована кнопкой на панели инструментов). На экран выводится диалог, показанный на рис. 4а.

H-Line Import	Salast Issant Mathada OTherwood Curve Editors @ Director	
There are two ways of importing a curve: using Curve Editor and direct import from an MG-file. The first way permits to create, import and edit a curve before it is implanted into the grid.	Curve to import is intended to be model top line	
	MG File Name 🍰	
Select Import Method:	C:\XTLM3_Impex\npc0.mg	
Curve to import is intended to be model top line	Curve Number 2 🗸	
OK Cancel	OK Cancel	
_	L	

Рис. 4. Диалог импорта h-линии. а) импорт через редактор h-линии; b) прямой импорт.

По умолчанию (рис. 4а), предлагается выполнить импорт через редактор h-линий, который позволяет посмотреть на кривую, которая импортируется и, если надо, подредактировать ее. Щелчок по кнопке *OK* выводит окно редактора кривой (рис. 3), в котором изображена пустая область возмущения. Теперь следует щелкнуть по кнопке импорта кривой и, после необходимых изменений, сохранить результат. Кривая будет встроена в решетку.

63

Второй метод – прямой импорт. Эту возможность следует использовать, когда требуется ввести кривую в модель с максимально возможной точностью, минуя пересчет на промежуточную х-сетку UMG, или если число точек кривой в MG-файле больше максимального числа узлов х-сетки UMG. Если говорим о "максимальной точности", то абсциссы вертикалей модели должны быть близки к тем, в которых задана кривая. Возможно, повышенная точность требуется и при вводе нивелировочного разреза или рельефа дна (см. ниже). При щелчке по радио-кнопке *Direct* диалог открывает подвал (рис. 4b) для определения имени файла и номера кривой в файле.

Изменение верхней границы модели

Хотя эта операция является <u>специальной</u>, она выполняется по общему правилу. GPA должна содержать первую h-линию H₁, и именно H₁ должна быть выделена. Отметим отличия в UMG/HE (рис. 3):

- верхней границей каркаса является верхнее основание прямоугольника модели;
- до начала изменений верхняя граница может быть не видна, так как перекрыта линией Н₁;
- допустимая область для H₁ ограничена сверху границей каркаса без допуска.

Если речь идет об импорте, то в диалоге импорта (рис. 4а) должен быть поднят флажок Curve to import is intended to be model top line.

Сейсмические горизонты

Формально сейсмический горизонт – это h-линия с особыми свойствами:

- ссылка на нее находится в списке горизонтов;
- она не подлежит автоматическому изменению или замене при перестройке решетки;
- она не подлежит удалению обычными командами для h-линий;
- на изображении модели она выделена визуально.

Горизонт может быть исключен из списка, после чего превращается в рядовую h-линию. Обратно, h-линия может быть назначена отражающим или преломляющим горизонтом, если в списке волн найдется подходящая "свободная" волна. Для выполнения преобразования следует выделить горизонт/h-линию и выбрать в меню планшета команду *Convert…*. . Пояснения требует преобразование h-линии в горизонт. Напомним, что <u>ID волны</u> имеет вид HW, где H – ID горизонта, W – тип волны. "Подходящая" волна должна иметь нужный тип и ID горизонта, не противоречащий положению h-линии в модели (ID горизонтов должны возрастать с глубиной). Model Editor анализирует список волн и либо сообщает о невозможности преобразования, либо выводит диалог со списком "подходящих" волн.

Изменение геометрии и скорость

Пусть **C** и **C'** множества ячеек GPA до и после операции изменения геометрии. Из свойств алгоритма перестройки решетки следует, что ячейки **C** и **C'** находятся во взаимно-однозначном соответствии. Например, ячейке из **C** можно сопоставить ячейку из **C'** с тем же положением по отношению к вершине GPA, т.е. верхней левой ячейке. После этого замечания можно сформулировать последнее свойство алгоритма перестройки, относящееся к поведению скорости:

 после операции изменения геометрии скорость остается "привязанной" к ячейкам с тем же двойным индексом (ряд, колонка).

Таково поведение скорости по умолчанию. В одних задачах это приемлемо: при сдвиге отражающего горизонта сохраняется скачок скорости, обуславливающий возникновение отраженной волны. В других задачах нарушение зависимости скорости от глубины неприемлемо. Для восстановления этой зависимости можно выполнить <u>замену скорости</u> в измененной решетке на скорость из m-yзлa, расположенного в Дереве выше текущего. Такой прием постоянно используется в примерах построения сейсмических горизонтов в главе "Обращение годографов".

Наблюдения

1 Обзор

В данном <u>цикле обработки</u> работа с системой наблюдений начинается после редактирования модели. Если модель хранится в узле Model N Дерева обработки, то, прежде всего, создается дочерний узел Observations 1. Для этого в Дереве обработки Менеджера проектов выделяется узел Model N и подается команда *Processing Tree*/*Create O-Node*. В образовавшемся узле создается первый вариант системы наблюдений. При необходимости можно создать другие дочерние о-узлы со своими вариантами системы наблюдений.

Ввод и хранение наблюдений. Каталог лучей

Термин система наблюдений (в пользовательском интерфейсе – spread) обозначает хранилище данных, в котором собраны сведения об источниках, приемниках и лучах, относящиеся к полевым наблюдениям (I-проект) или задаче моделирования (М-проект). Термин "луч" на этой стадии используется вместо выражения "пара источник-приемник". Как указано во <u>Введении</u>, первичным источником этих данных являются файлы наблюдений. Импорт всех таких файлов, независимо от проекта, осуществляется модулем SRT Port Manager. Он управляет автономным компонентом под названием *SRT-порт*. В портовом хранилище наблюдения из различных файлов хранятся в базах данных. Модуль SRT Data Extractor, работающий на о-узле, извлекает из хранилища нужные данные, находя их по имени базы данных. Модуль извлекает все данные или выборку из них. Извлеченные данные попадают в базу данных о-узла, называемую Каталогом лучей. Если база SRT-данных имеет тип SR, то Каталог лучей содержит все возможные пары "источник-приемник". Такой каталог называется *полным*. С Каталогом лучей работают модули решения прямой задачи и модули обращения годографов ныряющей, отраженной и преломленной волн.

Модуль решения прямой задачи использует Каталог лучей на входе и создает свою версию Каталога на выходе, помещая ее в f-узел. Каталог лучей в f-узле содержит трассированные лучи с временами пробега, а в l-проекте – также невязки времен. Таким образом, базы данных Каталога лучей хранятся как в о- так и f-узлах.

Пользователь имеет возможность скопировать Каталог лучей из о- или f-узла "обратно" в SRT-порт. Смысл такой операции состоит в возможности обмениваться данными наблюдений между проектами, в частности, использовать Каталог из f-узла для моделирования наблюдений при разработке методики интерпретации.

Порядок изложения

В разделе <u>SRT порт: Manager</u> и трех следующих за ним объясняется устройство компонента SRT-порт и работа с ним. В разделе <u>Каталог лучей: Заполнение</u> объясняется, как в ходе обработки данные из портового хранилища попадают в Каталог лучей текущего о-узла Дерева обработки. В разделе <u>Каталог лучей: Просмотр</u> рассматриваются способы просмотра содержимого Каталога лучей и экспорта его в ASCII файлы и SRT-порт. Последний раздел <u>Каталог лучей в М-проекте</u> посвящен особенностям работы с Каталогом лучей в М-проектах, в частности, графическому созданию системы наблюдений.

65

2 SRT-порт: Менеджер

SRT-порт

Компонент SRT-порт включает хранилище данных наблюдений (data warehouse) и программное обеспечение для его обслуживания: ввод файлов наблюдений, просмотр баз данных, их удаление, архивирование/восстановление, а также экспорт содержимого хранилища в текстовые файлы. Единицей хранения банка является база данных (или база SRT-данных), содержимое которой совпадает с содержимым какого-либо файла наблюдений. База данных идентифицируется уникальным именем и типом. Тип SRT отвечает файлам форматов SRT и #DT, тип SR порождается файлами форматов SR и S+R. Содержимое хранилища представляется пользователю как двумерная структура: набор складов, в каждом из которых лежат базы SRT-данных – образы файлов наблюдений. Портовый склад (data store) идентифицируется уникальным именем. Один склад — главный (.Main) — существует всегда, другие создаются пользователем по мере необходимости. На диске склад соответствует папке, база данных файлу. Данные в хранилище не редактируются. Вводить в порт можно файлы наблюдений в форматах SRT, #DT, SR и S+R. Два первых формата используются для наблюдений, содержащих времена пробега сейсмических волн. Эти данные в дальнейшем попадают в проекты обращения. Последние два формата используются для идентификации и указания положения источников и приемников в проектах моделирования. SRT-порт функционирует независимо от проектов, к нему можно обращаться в любой момент времени. Портовый склад размещается в фиксированной папке файловой системы вне рабочих и других папок, связанных с проектами.

SRT Port Manager

Пользовательское представление SRT-порта и управление им реализует модуль SRT Port Manager. Он запускается командой главного меню Менеджера проектов *Tools*/*SRT Port* или кнопкой панели инструментов. На рис. 1 показано главное окно модуля.

tabases		Selected Database Propert	ies
Dataset Name Δ	Created	Dataset Type	SRT
BarentzSea_2001_AD1	16.02.2017 18:03	Source file name	barentz2001.srt
BarentzSea_2002_AD2	20.07.2016 11:21	Contains profiling data	Yes
CaspSea 2010 Line12	16.02.2017 18:03	Observation X-range	0 To 100
D1 TrialModel	16.02.2017 18:03	Observation Z-range	-0.01 To 0
DSS Transit 2005	02.04.2017 15:48	Actual resolution in X	1
Danube FT 2006	02.04.2017 16:15	Actual resolution in Z	0
GeoTech_Line_A2	05.04.2017 15:21	Comment	
Laptev_See_2009_1 0 South_Jamal_2D-1999 1 Special_Example 1 Study_A2-Model-15 1 Study_A2-Model11 0	05.04.2017 14:38 16.02.2017 18:03 16.02.2017 18:03 16.02.2017 18:03 04.04.2017 10:06	2D CMP survey of 2001-2 profile. Field data are pro from DPU to SRT file. DPU database name.	1002 as a part of A3 base cessed by DPU and exporte project name is same as haracters are saved.

Рис. 1. SRT Port Manager: главное окно.

На верхней панели расположен выпадающий список имен складов, в котором при запуске выбран главный склад. На левой панели показан список имен баз данных, лежащих на складе. Базы типа SRT имеют голубую иконку, базы типа SR — желтую. Помимо имени, в списке указана дата создания базы. По

умолчанию, список упорядочен по возрастанию (<u>A</u>) имен. Изменить порядок можно щелчком по заголовку колонки. Правая панель содержит детали (Properties) базы, выделенной в списке: тип; имя файла наблюдений, из которого база была сформирована; флаг профильных наблюдений (*Contains profiling data*); область наблюдений (x-range, z-range); минимальное отличие координат однотипных устройств системы наблюдений (resolution in x, resolution in z). Отдельное поле содержит комментарий, который можно редактировать с последующим сохранением щелчком по кнопке *Save*. Список допускает множественное выделение. Если в списке выделено несколько строк, правая панель выводит информацию, относящуюся к первой выделенной базе. Можно установить фильтр для вывода баз данных определенного типа. Для этого служит выпадающий список *Database type filter* на верхней панели.

Управление базами данных

Управление базами данных на складе осуществляется командами контекстного меню списка. Ниже перечислены команды меню и соответствующие операции. Некоторые из них подробно рассматриваются в следующих темах главы.

Команда	Описание
Import Observation file	Импортирует файл наблюдений. После верификации файла создает новую базу данных с именем, которое указывает пользователь. Подробности в следующем <u>разделе</u> .
View as Table	Позволяет увидеть содержимое выделенной в списке базы данных в виде числовых таблиц. Подробности в следующем <u>разделе</u> .
View as TX-curves	Запускает графический модуль, позволяющий увидеть содержимое выделенной базы данных в виде кривых – систем годографов сейсмических волн. Команда доступна только для профильных наблюдений. Подробности в этом <u>разделе</u> .
Rename	Позволяет изменить имя текущей базы.
Move To	Перемещает все выделенные в списке базы данных на другой склад. Последний выбирается двойным щелчком из списка складов (рис. 2а), который выводит команда.
Delete	Удаляет все выделенные базы данных из портового склада.
Archive	Помещает все выделенные базы в один архивный файл. Подробности в этом <u>разделе</u> .
Extract from Archive	Извлекает указанные пользователем базы из архивного файла и помещает их в портовый склад. Подробности в этой <u>теме</u> .
Export	Экспортирует содержимое выделенной базы в текстовый файл указанного пользователем формата. Подробности в этой <u>теме</u> .
Update Database List	Заново считывает состав портового хранилища с диска.
Data Warehouse Disc Size	Выводить размер портового хранилища на диске.

Таблица 1. Команды управления SRT-портом
67

Управление складами

Кнопка *Stores* выводит диалог *SRT Port Data Store List*, который обеспечивает управление складами (рис. 2a). Контекстное меню содержит команды для создания нового склада (Create), изменения имени (Rename) и удаления склада (Delete) вместе с содержимым. Имя склада не должно содержать более 25 символов, разрешенных к использованию в именах файлов. Имя склада уникально (имя базы данных уникально в пределах склада). Если склад открыт (т.е. его содержимое выведено в список баз данных), то переименовать или удалить его нельзя. Сначала надо открыть другой склад. Главный склад *.Main* не подлежит ни переименованию, ни удалению. После создания нового склада его можно выбрать в выпадающем списке на верхней панели.



Рис. 2. Управление складами. а) Список складов. б) Поиск базы данных в портовом хранилище.

Еще одна команда, относящаяся к управлению складами, — поиск базы SRT данных во всем хранилище (по всем складам). Кнопка *Find* вызывает диалог поиска (рис. 2b). В поле редактирования вводится образец поиска — подстрока имени базы данных. Результат выводится в виде таблицы "имя базы данных — имя склада". Двойной щелчок по строке таблицы показывает искомую базу данных в списке (рис. 1): автоматически выбирается нужный склад, выводится список баз данных на складе, и нужная база выделяется курсором списка.

3 SRT-порт: Импорт

Импорт файла наблюдений

В меню Менеджера SRT-порта первой стоит команда импорта файла наблюдений *Import Observation file*. Она запускает модуль импорта. Для каждого из разрешенных форматов модуль (1) выполняет ввод содержимого файла в систему; (2) осуществляет верификацию содержимого; (3) создает новую базу данных на текущем складе портового хранилища данных. Проверка файла выявляет все ошибки формата, верифицирует однозначность данных и дублирование лучей. Однозначность требует, чтобы устройства системы наблюдений с одинаковыми номерами имели одинаковые координаты и чтобы в одной пространственной точке располагалось только одно устройство данного типа (источник или приемник). Модуль выявляет все ошибки и составляет протокол с их перечнем, который содержит ссылки на ошибочные строки файла.

Главное окно модуля импорт показано на рис. 1а. Пользователь должен указать тип файла наблюдений, выбирая формат в фильтре файлового диалога (рис. 1b) при выборе файла.

68

Select file to import and define database name	File "SRT"	1 КБ 219 КБ т
► Import View Log Close	SRT Files (*.srt) SRT Files (*.srt) SR Files (*.sr) S+R Files (*.s) #DT Files (*.#dt)	

Рис. 1. Модуль импорта. а) главное окно; b) выбор формата в файловом диалоге.

Флаг профильных наблюдений (*File contains 2D profiling data*) активен для форматов SRT и #DT. Его следует установить с учетом <u>определения</u>. Если флаг поднят, при верификации файла будет проверяться, что положение приемников однозначно определяется их х-координатой.

Далее задается имя базы данных (SRT database name). По умолчанию, оно совпадает с именем файла (без расширения) с заменой пробелов на символ подчеркивания (пробелы не допускаются). Максимальная длина имени – 25 символов. Помните, что это имя файла. Щелчок по кнопке *Import* запускает процедуру импорта. При успешном завершении модуль закрывается, и новая база данных появляется в списке баз данных текущего склада. В противном случае пользователь может просмотреть протокол (кнопка *View Log*) и проанализировать ошибки. Протокол выводится в программе просмотра ASCII файлов XTomo-LM (рис. 2). Чтобы сохранить протокол, используйте команду *Save As* всплывающего меню программы.

Import Log			
SRT PORT MANAGER LOG: IMPORTING OBSERVATION FILE	Select All	Ctrl+A	۱ĥ
Session time: 29.05.2016 16:21.	Сору	Ctrl+C	
Source-receiver configuration file(s): South Jamal 2D-1999.srt.	Find	Ctrl+F	
Line observation flag is set.	Find Next	F3	
Database name: South_Jamal_2D-1999.	FindPrevious	Ctrl+F3	
** Receiver 7 has different coordinates in file lines: 3 and 18.	Save As	Ctrl+S	
** Receiver 8 has different coordinates in file lines: 4 and 19.	Close		
** Receiver 9 has different coordinates in file lines: 5 and 20.			11
** Receiver 10 has different coordinates in file lines: 6 and 21.			
** Receiver 11 has different coordinates in file lines: 7 and 22.			

Рис. 2. Фрагмент протокола импорта.

Просмотр содержимого базы SRT-данных

Команда View as Table (<u>Таблица 1</u>) позволяет просмотреть содержимое базы SRT данных. Оно представляется пользователю в виде трех таблиц (рис. 3): таблицы источников, таблицы приемников и таблицы лучей.

			,						 	/11111	/	
Jun	SID I	Y	7		Rece	RID I	x X	7	Kays	(IIII)	RID	Time
-	1	0.000000	-0.010000			1	0.000000	0.000000		1	1	0.005000
	2	10.00000	-0.010000			2	1.000000	0.000000	*	1	2	0.525000
,	3	20.00000	-0.010000	_		3	2.000000	0.000000	*	1	3	1.050000
	4	30.00000	-0.010000	-		4	3.000000	0.000000	*	1	4	1.573000
•	5	40.00000	-0.010000			5	4.000000	0.000000	*	1	5	2.096000
•	6	50.00000	-0.010000			6	5.000000	0.000000	*	1	6	2.609000
•	7	60.00000	-0.010000			7	6.000000	0.000000	*	1	7	3.114000
•	8	70.00000	-0.010000			8	7.000000	0.000000	*	1	8	3.610000
•	9	80.00000	-0.010000			9	8.000000	0.000000	*	1	9	4.097000
	10	90.00000	-0.010000			10	9.000000	0.000000	*	1	10	4.573000
-	11	100.0000	-0.010000			11	10.00000	0.000000	*	1	11	5.037000

Рис. 3. Модуль просмотра содержимого базы SRT-данных. Представление базы типа SRT.

Таблицы устройств упорядочены по возрастанию ID устройства. Таблица лучей выводится блоками, каждый из которых отвечает одному источнику. Вид таблицы лучей различен для баз данных типов SRT и SR. В первом случае (рис. 3) таблица содержит лучи одной волны, а переключение между волнами происходит путем выбора волны из выпадающего списка *Wave*. Строка таблицы содержит ID источника, ID волны и ее время пробега. Для баз формата SR понятия волны и времени пробега не имеет смысла, и таблица лучей перечисляет всевозможные пары "источник-приемник" (SID-RID).

4 SRT-порт: Годографы

Просмотр систем годографов

Если база SRT-данных хранит профильные наблюдения, ее содержимое может быть представлено в виде систем годографов одной или нескольких волн. Менеджер порта позволяет просматривать такую базу в графическом виде как совокупность кривых на плоскости (X, T) – графиков годографов. Для этого используется модуль SRT TX-Curve Viewer, один из графических модулей, основанных на изображении семейства кривых. Модуль запускается командой *View as TX-curves* меню Менеджера. и позволяет в деталях рассматривать системы годографов и, в какой-то степени, анализировать их кажущиеся скорости. Главное окно модуля показано на рис. 1.



Рис. 1. Главное окно модуля SRT TX-curve Viewer. Красным выведен выделенный годограф, информация о котором дана на статусной панели наряду с текущими координатами курсора.

Годографы разных волн изображаются кривыми с разными атрибутами рисовки, в частности, разными цветами. Модуль поддерживает собственный список волн, коды которых извлекаются из базы SRTданных. В списке имеется 10 фиксированных атрибутов рисовки. Если волн оказывается больше, их годографы выводятся с атрибутами по умолчанию, которые пользователь может редактировать.

Окно содержит три секции: Source List (Список источников), Wave List (Список волн) и планшет (X,T) для вывода годографов. Пунктирными линиями показаны вертикали, проходящие через точки расположения источников. Планшет имеет лупу и селектор годографа, как и планшет с изображением модели. Резиновый контур селектора должен содержать, по крайней мере, две точки годографа с разными абсциссами, иначе он не рисуется. Селектор предназначен для выбора области при увеличении и для выбора годографа или его сегмента. При выборе кривой среди всех точек, попавших внутрь резинового контура, выбирается ближайшая к левому ребру контура, а если таких точек несколько, – та, что ближе всех к верхнему ребру. Выделяется тот годограф, которому принадлежит эта точка. Если таких годографов более одного, выбирается тот, что относится к источнику с меньшим ID. Выбранный годограф окрашивается цветом выделения, заданным в списке волн. Если положение источника и приемника совпадают, соответствующая точка годографа всегда присоединяется к выделенному годографу.

Управление

Модуль управляется главным меню, меню списков источников и волн, меню резинового контура и меню планшета. Меню списков источников и волн реализуют фильтрацию данных: команды меню позволяют выводить только годографы, порожденные выборкой источников или волн. Оба списка допускают множественное выделение. Для отмены фильтров предусмотрены особые команды. Сводка команд остальных трех меню описана в Таблице 1.

Таблица 1. Команды управляющих меню

Команда	Описание						
	Меню View главного меню						
Show X, T under Cursor	Переключатель. Выводит или скрывает окно подсказки под курсором планшета, содержащее текущие значения абсциссы и времени. Вблизи оси источника окно показывает дополнительно ID источника. При наличии выделенного годографа окно содержит дополнительно х-удаление от источника, к которому относится выделенный годограф.						
Show Source & Wave Lists	Переключатель. Выводит или скрывает левую панель со списками источников и волн.						
Show Source Verticals	Переключатель. Выводит или скрывает вертикали, проходящие через точки расположения источников.						
Waves	Выводит диалог, очень похожий по назначению, функциональности и управлению на <u>Менеджер волн</u> .						
Меню резинового контура							
Zoom in	Растягивает содержимое резинового контура до размеров планшета.						
Select TX-Curve	Выделяет один из годографов, захваченных резиновым контуром согласно описанному в предыдущем пункте правилу, и выводит его цветом выделения, заданным в диалоге "Waves".						
Apparent Velocity for Segment	Добавляет отрезок выделенного годографа в список сравнения кажущихся скоростей (см. ниже).						
Rubber-band Properties	Выводит диалог для редактирования свойств резинового контура.						
	Меню планшета						
Zoom out	Снимает увеличение.						
Decrement Zoom	Уменьшает увеличение на один шаг.						
Unselect	Развыделяет годограф.						
TX-Curve Table	Выводит таблицу выделенного годографа (см. ниже).						

Кажущиеся скорости годографов

Сравнение кажущихся скоростей важно для анализа систем годографов головных волн. Модуль просмотра обеспечивает информацию о кажущихся скоростях годографов и содержит простейший механизм их сравнения. Если выделить годограф и в меню планшета выбрать *TX-Curve Table*, появляется диалог, в котором годограф представлен числовой таблицей (рис. 2а).

S	elected	TX-Curve						8	0	Appare	ent Velocit	v				x
			Source	11. Wave 1	000. Reverse	d.						·				
		RID	х	z	X-Offset	т	Va	*	l	Current Se	gmnet					
	1	1	0.000000	0.000000	-100.000	42.7220	2.4056	Ε		9	1-0	R	3.241	5.275	18.235	+
	2	2	1.000000	0.000000	-99.0000	42.3050	2.4058		Ш							
	3	3	2.000000	0.000000	-98.0000	41.8890	2.4069			List for Co	mparison					
	4	4	3.000000	0.000000	-97.0000	41.4740	2.4081			Source	Wave	Dir	Va	X1	X2	
	5	5	4.000000	0.000000	-96.0000	41.0590	2.4095			Joure					7.00	
	6	6	5.000000	0.000000	-95.0000	40.6430	2.4115			11	1-0	R	3.303	23.729	38.942	
	7	7	6.000000	0.000000	-94.0000	40.2290	2.4136			1	1-0	D	3.392	44.154	72.750	
	8	8	7.000000	0.000000	-93.0000	39.8150	2.4159		Ш							
	9	9	8.000000	0.000000	-92.0000	39,4020	2.4186									
	10	10	9.000000	0.000000	-91.0000	38.9870	2.4208									
	11	11	10.00000	0.000000	-90.0000	38.5750	2.4232				Jir - 1X-CU	rve dr	ection: D - di	rect, R - reve	ersed;	
	12	12	11.00000	0.000000	-89.0000	38.1630	2.4256			· · · ·	va - appare	nt velo	uty value for t	ne interval (x	1, 72]	
	13	13	12.00000	0.000000	-88.0000	37.7510	2.4283			C						
	14	14	13.00000	0.000000	-87.0000	37.3380	2.4308	-					Ť			
	Averagin for com	ng radius puting Va	4 ≑	Compute			Close]	- a			bj			

Рис. 2. Диалоги модуля SRT TX-curve Viewer.

а) Таблица встречного годографа от источника 11. b) Список сравнения кажущихся скоростей.

Колонки таблицы: порядковый номер наблюдения (#); ID приемника (RID); координаты наблюдений (X и Z); удаление (X-offset); время пробега волны (T); кажущаяся скорость (V_a). Кажущаяся скорость вычислена путем аппроксимации годографа линейной функцией в скользящем окне из 8 точек (иначе: с радиусом усреднения 4). Пользователь может пересчитать скорость, выбирая другой радиус в окне редактирования Averaging radius и пользуясь кнопкой Compute.

Список сравнения кажущихся скоростей содержит значения скорости для отрезков годографов (рис 2b). Кажущаяся скорость отрезка равна обратной величине наклона прямой, аппроксимирующей сегмент. При запуске модуля список пуст. Для добавления новой записи в список выделите нужный годограф, а затем укажите нужный отрезок, снова растягивая резиновый контур. Положение резинового контура по вертикали не имеет значения, важны только абсциссы концов горизонтальной стороны контура. В меню контура выберите команду *Аpparent Velocity for Segment*, которая и выводит диалог со списком сравнения. В верхней строке диалога показана информация о текущем сегменте: ID источника (Source), ID волны (Wave), направление годографа (Dir: D – прямой, R – встречный), значение кажущейся скорости V_a и абсциссы концов отрезка (X1, X2). Щелчок по кнопке "плюс" добавляет информацию из строки в список. Изучению списка может помочь возможность сортировки его по ID источника или волны. Команды сортировки можно найти в контекстном меню списка. Меню содержит также команду удаления выделенных в списке записей.

5 SRT-порт: Архивы. Экспорт

Создание архивов

SRT-порт хранит на своем складе базы данных для всех файлов наблюдений, введенных в XTomo-LM с момента выхода выпуска 3.1.1. Для экономии дискового пространства часть баз данных может быть помещена в сжатый архивный файл (текущий объем, занимаемый на диске складом SRT-порта, можно вывести командой меню Менеджера порта *Data Warehouse Disc Size*). Архивный файл может хранится в любом указанном пользователем месте файловой системы, но рекомендуется использовать <u>архивную</u> <u>папку</u> XTomo-LM. Архивные файлы удобно использовать также для обмена данными между пользователями.

Работа с архивами – обязанность Менеджера SRT-порта. Для создания архива выделите в списке баз данных те, которые нужно поместить в архив и в контекстном меню списка выберите команду *Archive*. Команда выводит диалог создания архива (рис. 1а).

Creating Archive File	Extracting Databases from Archive File	8	
All selected database will be put in one compressed file. The recommended folder to place the file in is any XTomo-LM Archive/Package folder.	Click Browse to find and open an archive file. Its content is shown as database list. Using list popup menu, mark items to extract. Then click Extract. Marked databases will be added to SRT Port warehouse.		
C:\XTomo-LM_Packages & Archives	File C:\\srtport-2016-03-28_15-40.asrt.fxc		
Archive File Title p2016-06-01_17-00	Database List (8)	Overwright Mode	
File Name p2016-06-01_17-00.asrt.fxc Create Cancel a	BarentzSea_2001_AD1 BarentzSea_2002_AD2 CaspSea_2010_Line12 DSS_Transit_2005 Danube_FT_2006	Always	
Export to ASCII File [CaspSea_2010_Line12]	KGO_1181_Reflection	Extract	
Output File Name C C:\XTLM3_Impex\Okhotsk Sea 2008\CaspSea_2010_Line12.s	MatraSea-2003-Line02	Close	
Format S+R			

Рис. 1. Диалоги создания архива (а), извлечения из архива (b) и экспорта (c).

Пользователь должен выбрать папку, в которую помещается архивный файл. Для этого кнопкой с иконкой папки вызывается браузер локальных папок. По умолчанию, браузер показывает последнюю использованную для этой же цели папку. Имя архивного файла формируется автоматически по текущему времени с добавлением фиксированного расширения. Имя файла менять нельзя, иначе он не будет опознан Менеджером. Архивация запускается кнопкой *Create*.

Извлечение баз данных из архивного файла

Используем команду меню Менеджера *Extract from Archive*. Диалог, который она вызывает, показан на рис. 1b. Работа начинается со щелчка по кнопке *Browse* для выбора архивного файла. Имена баз данных, содержащихся в выбранном архиве, выводятся в виде списка, как на рис.1b. Все имена баз имеют серые иконки. Выберите те базы данных, которые следует добавить в портовый склад. Для выбора используйте множественное выделение и контекстное меню списка. Выбранные имена получают цветные иконки. Далее выберите режим перезаписи баз с одинаковыми именами из выпадающего списка *Overwrite Mode*. Затем щелкните по кнопке *Extract*.

Экспорт в ASCII файлы

Команда меню Менеджера *Export* выводит диалог, показанный на рис. 1с. Пользователь должен выбрать формат файла из выпадающего списка *Format* и указать имя файла в файловом диалоге, который вызывается кнопкой *Browse*. Базы типа SRT можно экспортировать в файлы любого из форматов SRT, SR, S+R, #DT. Базы типа SR – только в файлы SR и S+R. Щелчок по кнопке *Export* запускает операцию.

6 Каталог лучей: Заполнение

Извлечение данных

Пустая база данных *Каталог лучей* создается автоматически во вновь созданном о-узле. Заполнение Каталога выполняется модулем SRT Data Extractor. Однако модуль не просто копирует базу SRT-данных в о-узел; он решает две такие задачи: (1) проверяет, соответствуют ли данные ограничениям проекта; (2)

извлекает определенную пользователем выборку данных из базы SRT-данных. Ограничения проекта состоят в следующем:

- 1) геометрия наблюдений проекта (2D profiling или Other) должна соответствовать значению флага "Contains profiling data" базы данных;
- 2) для І-проекта, по крайней мере, одна волна из числа тех, наблюдения которых хранятся в базе данных, должна быть *известна* (known), т.е. содержаться в списке волн проекта;
- 3) источники и приемники должны попадать в область модели и не вызывать ошибки разрешения.

Опция (2) важна, потому что наблюдения должны соответствовать той обратной задаче или задаче моделирования, для решения которой создан о-узел.

SRT Data Extractor

74

На нужном о-узле Дерева обработки вызовите контекстное меню и выберите команду *Extract Data from SRT Port*. Команда запускает модуль SRT Data Extractor, главное окно которого показано на рис. 1а.

SRT Port		-
Data Store Name	iliain 💌	
Database Name	Laptev_See_2009_1	
Data Sample		а
Waves and Offsets		
* 0 Diving. Offs	ets: Any 🗸 🔛	
Sources 🔻 1	✓ Receivers ▲ 1 ✓	h
	Checking SRT Database against Project	
Accessing SRT data Checking observati Unknown wave(s) Checking sources/r 2 receivers of 101	base "DSS_Transit_2005" OK! on geometry and waves in SRT database. Observations of those waves a eceivers for resolution and location OK! cannot be extracted due to resolution or locatio	are ignored. on errors.

Рис. 1. Модуль SRT Data Extractor. a) главное окно; b) протокол проверки.

В верхней части окна следует выбрать нужную базу SRT-данных. В первом выпадающем списке выбирается портовый склад, во втором — база. В случае I-проекта в список баз входят только базы типа SRT, в случае M-проекта — базы типа SR. Сразу же после выбора нужной базы модуль начинает решение задачи 1. Результаты проверки базы данных выводятся в протоколе (puc.1b). В случае успеха все строки в протокола оканчиваются "OK!". Если вся база целиком данных преобразуется в Каталог, операция завершается щелчком по кнопке *Copy*.

Ошибки

Проверка может выявить ошибки: (a) геометрия наблюдений в проекте и базе данных не совпадают; (б) выявлены неизвестные волны (unknown waves); (в) обнаружены источники и приемники, не удовлетворяющие условиям 3). Ошибка (а) является критической: извлечение данных отменяется. Ошибка (б) является критической, если все волны неизвестны. Ошибка (в) критична, если число ошибочных источников или приемников слишком велико. Если ошибки не критичны, операция продолжается, но наблюдения неизвестных волн и лучи, отвечающие ошибочным источникам и приемникам, не копируются

A	87	80.00000	0.000000		Wave/Offrat Condition		
	88	87.00000	0.000000		wave/Onset Condition		
	89	88.00000	0.000000		Use list context menu of	or double-clic	k to include
	90	89.00000	0.000000		exclude waves. For 2D pr	ofiling, restric	t x-offset rang
	91	90.00000	0.000000		ir necessary. The ra	inge (0,0) mea	ins any .
	92	91.00000	0.000000		Wave	01	02
	93	92.00000	0.000000		* 0 Diving	0.0	40.0
	94	93.00000	0.000000		* 1-0 Reflection	0.0	0.0
	95	94.00000	0.000000		* 1-2 Head	0.0	0.0
	96	95.00000	0.000000				
	97	96.00000	0.00 a		l l	2	
	98	97.00000	0.000000	E			
	99	98.00000	0.000000				
	100	99.00000	0.000000				
8	101	101.0000	0.000000	-	O1 0.0 O2 40	0.0	ОК

в Каталог лучей. С помощью средств создания выборок можно узнать, какие волны известны и какие устройства вызвали ошибки.

Рис. 2. Средства создания выборок. а) этот приемник вызвал ошибку; b) список известных волн.

Кнопки View and select, расположенные справа от каждого поля панели Data Sample, выводят диалоги со списками известных волн, источников и приемников. Ошибочные устройства помечены специальными иконками (рис. 2а).

Создание выборок

Выборка из базы SRT-данных определяется наборами волн, источников и приемников и интервалом удалений. Для М-проектов волны и удаления не участвуют в критерии отбора. По умолчанию, все известные волны включены в выборку и все удаления допустимы. Визуально: все строки списка волн выведены черным, а в колонках O1 и O2 для границ интервала удалений стоят нули. Чтобы исключить волну из выборки, выполните по строке списка двойной щелчок или используйте команды контекстного меню. Исключенные волны показаны серым цветом. Чтобы изменить интервала удалений для волны из выборки, выделите ее и введите новые значения для границ интервала в поля под списком. Затем щелкните по стреле, чтобы перенести эти значения в выделенную строку списка. На рис. 2b выбрана только ныряющая волна, причем только ее наблюдения с удалениями не больше 40.0. Операция заканчивается щелчком по кнопке OK или по системной кнопке закрытия окна (отказ).

Выборка источников и приемников производится в диалоге, показанном на рис. З для источников.



Рис. 3. Формирование выборки источников.

Наличие иконки указывает на то, что источник включен в выборку, отсутствие – что он не включен. В списке могут присутствовать и источники, исключенные из-за ошибок. Они игнорируются. В контекстном меню списка имеются команды сортировки и переключатель "включен-исключен" для выделенного источника. Переключателем служит и двойной щелчок. Дальше будем говорить о включении в выборку. На правой панели выполняются групповые операции включения. Используются четыре критерия. Перечисляем их сверху вниз: (1) включить все; (2) включить источники с номерами из указанного интервала; (3) включить каждый Ј-й источник, начиная с К-го, J и К задаются; (4) включить источники с х-координатой из заданного интервала, концы интервала задаются. Критерий выбирается щелчком по радио-кнопке. После выбора критерия и ввода значений параметров (J, K, концы интервалов) делаем щелчок по ссылке *Include* (Включить). Важно: в описании критериев отсутствует слово "только". Это значит, что, источники, включенные ранее, остаются включенными. Чтобы получить выборку, показанную на рис. 3, надо сначала выбрать *All, Exclude*, а затем *Items with ID range*, ввести 5 и 9 и щелкнуть по *Include*. После щелчка по *OK* выпадающий список в главном окне будет содержать только ID выбранных источников.

После того, как выбраны волны, источники и приемники, т.е. выборка сформирована, ее копирование в Каталог лучей запускается кнопкой *Сору* главного окна.

7 Каталог лучей: Просмотр

В этом разделе предполагается, что Каталог лучей в о-узле уже сформирован. В контекстном меню Дерева, если вызвать его на этом узле, активна команда View Observations (I-проект) или View Spread (Мпроект). Каждая из них раскрывает подменю с командами, реализующими способы просмотра Каталога лучей.

Команда	Проект	Назначение
On Model Image	I, M	Запускает графический модуль просмотра наборов источников и приемников на изображении модели (Spread Graphic Viewer).
AS Ray Catalog Database	I, M	Запускает модуль просмотра Каталога лучей в виде иерархии числовых таблиц (Ray Catalog Viewer) .

As TX-Curve Set	I <i>,</i> профиль	Доступна только в случае профильных наблюдений. Вызывает (графический) модуль просмотра Каталога в виде набора систем годографов волн (TX-Curve Viewer).
-----------------	-----------------------	--

Модуль Spread Viewer

Этот графический модуль, похожий на <u>Model Viewer</u>, показывает наборы источников и приемников на изображении модели. Источник изображается треугольником, стоящим на вершине, приемник – треугольником, стоящим на основании. Точка постановки источника указана вершиной треугольника, точка постановки приемника совпадает с серединой основания. Форму символов изменить нельзя, но цвет и размеры – можно. Для этого в меню *Properties* следует выбрать команду *Spread Drawing Attributes*. Она выведет диалог, показанный на рис. 1b. Он напоминает окно <u>Менеджера волн</u> не только видом, но и приемами работы. На правой панели можно изменить размер и цвет символа, наличие и цвет бордюра. В пользовательском интерфейсе иконка с изображением источника является метафорой системы наблюдений.



Рис. 1. Модуль Spread Viewer. а – список источников/приемников; b – атрибуты рисовки.

На рис. 1а приемники и источники располагаются вдоль линии наблюдения, источники заглублены. Это типичная ситуация. Но со стороны XTomo-LM никаких ограничений на расположение источников и приемников нет. В М-проекте пользователь может располагать их где угодно, кроме левой колонки и последнего ряда решетки. Команда *View/Source/Receiver List* выводит окно с перечнем источников или приемников в виде таблицы "ID – X – Z". Она связана с изображением так, что источник (приемник), выделенный в таблице, получает на изображении ярлычок со значением ID. На рисунке ID = 2. Модуль *Spread Viewer* не дает информации о множестве лучей.

Модуль Ray Catalog Viewer

78

Модуль RCV представляет информацию в Каталоге лучей в виде набора таблиц. На рис. 2 модуль вызван на о-узле I-проекта.



Рис. 2. Главное окно модуля Ray Catalog Viewer.

Иерархия таблиц такова: волны — источники — приемники: таблица *Sources* показывает все источники, порождающие наблюдения выбранной волны; для выделенного источника таблица *Receivers* показывает список всех приемников, зарегистрировавших от него полезный сигнал (а, значит, — список лучей, исходящих из этого источника). *То* — стандартное обозначение для *наблюденных* (observed) времен. Звездочка у имени колонки в таблицах указывает ключ сортировки.

При выделении другого источника в Sources таблица Receivers заполняется новой порцией данных. При выборе другой волны обновится таблица Sources. Обновления часто не заметны, поскольку множество приемников не меняется при переходе к другому источнику, а множество источников – при переключении волны.

В случае М-проекта колонка *То* в таблице *Receivers* отсутствует. Отсутствует и список волн, поскольку волны связываются с системой наблюдения только при решении прямой задачи.

Модуль RCV можно запустить и на f-узле командой View Catalog of Traced Rays. При этом таблица Receivers приобретает новый столбец *Tc* – *pacчemные времена* (computed times), а в случае I-проекта – еще и колонки Ea (абсолютные невязки, absolute errors or residuals) и *Er* (относительные невязки, relative errors or residuals). Обозначения *Tc, Ea u Er* всегда имеют указанный смысл в пользовательском интерфейсе XTomo-LM.

Кнопка *Export* выводит диалог для экспорта содержимого Каталога лучей в ASCII файлы. Пользователь выбирает формат выходного файла и опции вывода (все волны или только выбранная волна). Предлагается три формата: <u>SRT</u>, <u>SR</u> и *All columns*. Выбрать SRT на о-узле можно только в I-проекте. На fузле выбрать SRT можно и в M-проекте, причем в качестве наблюденного времени будет выводиться *расчетное время Тс.* Формат "All Columns" предусматривает вывод всех колонок обеих таблиц в обычный текстовый файл (TXT).

Модуль TX-Curve Viewer

Пользовательский интерфейс этого модуля почти такой же, как у модуля <u>SRT TX-Curve Viewer</u>. Главное отличие состоит в том, что используется список волн текущего проекта и поэтому в нем отсутствует команда *View/Waves*. Дополнительная команда меню планшета позволяет скрывать/показывать индивидуальные годографы, не пользуясь фильтрацией данных. За справкой следует обращаться в раздел <u>SRT-порт: Годографы</u>. Контекстная помощь модуля сразу вызывает параграфы этого раздела.

Копирование Каталога лучей в SRT-порт

Каталог лучей в о- или f-узле можно скопировать в SRT-порт. Операция решает две задачи: использование содержимого Каталога в другом проекте и моделирование наблюдений по решению прямой задачи. Для копирования используется команда меню Дерева обработки. Вызовите меню на о- или f-узле и выберите в меню команду *Copy Ray Catalog to SRT Port*. Команда запускает модуль копирования, главное окно которого показано на рис. 3.

Copying Ray Catalog to SRT Port									
M-project. Node 1-1-1. Copy computed times. No noise.									
Targert Port Data Store User Temp DS									
Port Database Name Node_1-1-1									
Port Database Type SRT V Cantains 2D profiling data									
Copy Times Voise 🚱 Help									

Рис. 3. Копирование Каталога лучей в SRT-порт.

На верхней панели выводятся тип проекта и код узла, ниже – выпадающий список портовых складов, ниже – имя и свойства целевой базы данных. Содержимое и активность полей свойств и доступность кнопок управления зависит от типа проекта и выбора узла Дерева. Например, Каталог лучей о-узла Мпроекта может быть скопирован только в базу данных типа SR. Во всех других случаях тип выбирается пользователем. В І-проекте на f-узле пользователь может выбирать между наблюденными и расчетными временами. Для этого служит кнопка *Times*. Кроме того, в случае базы данных типа SRT значения времени могут быть зашумлены путем добавления гауссова шума с заданным средним а и стандартным отклонением о. Зашумленные времена пробега из решения прямой задачи используются для моделирования наблюдений при разработке методики интерпретации. Для добавления шума используется кнопка Noise, которая выводит диалог для ввода а и о. Признаком зашумления является условие _о > 0. Имя целевой базы данных по умолчанию показано на рис. 3. Его можно изменить. Для портовой базы типа SRT должен быть определен флаг профильных наблюдений. В случае копирования Каталога из F-узла М-проекта информацию о типе данных задает пользователь с помощью флага Database contains 2D profiling data. В остальных случаях флаг устанавливается автоматически и не доступен для изменения. Операция копирования начинается после щелчка по кнопке Сору.

79

8 Каталог лучей в М-проекте

В М-проекте систему наблюдений не обязательно задавать в текстовых файлах. Она может быть создана и отредактирована в графическом виде модулем *Spread Graphic Editor*. Команда *Edit Spread* находится в меню Дерева обработки, вызванном на о-узле М-проекта. Модуль наследует способ представления источников и приемников и всю функциональность программы просмотра <u>Spread Viewer</u>. Команды редактирования помещены в меню резинового контура (рк-меню), контекстное меню планшета и в список источников/приемников. Добавление источника или приемника требует определения его ID и координат. Во всех операциях ID создаются автоматически; модуль контролирует ошибки позиционирования и разрешения. Запрещено размещать источники и приемники в первой колонке и последнем ряду решетки. Spread Editor предоставляет возможность откатить операцию лишь в нескольких случаях.

Операции и команды

Команда	Место	Описание						
Add Source, Receiver	меню планшета	Доступны, если выделена ячейка решетки. Источник/приемн помещается в вершину ячейки. ID создается автоматически.						
Add Array	меню планшета	Доступна, если выделен ряд или колонка. Создает расстановку источников или приемников вдоль кровли ряда или левого ребра колонки (см. ниже).						
Add Inline Array	рк-меню	Создает линейную расстановку источников или приемников вдо ребер или диагоналей прямоугольника. <u>Подробнее</u> .						
Delete Sources, Receivers or Both	рк-меню	Удаляет источники, или приемники, или все устройства, захваченные резиновым контуром.						
Кнопка Delete	список	Удаляет источники или приемники, отмеченные в списке.						
Кнопка <i>+Move</i> Кнопка <i>–Move</i>	список	Перемещает источники/приемники, отмеченные в списке. <u>Подробнее</u> .						

Таблица 1. Операции редактирования модуля Spread Editor

Создание расстановки вдоль h- или v-линии

Остановимся на случае h-линии. Случай v-линии принципиально не отличается. После выделения ряда в контекстном меню планшета становится доступной команда Add Array. Она вызывает диалог (рис. 1), позволяющий создать расстановку (array) равноотстоящих источников или приемников в зависимости от флагов Array Item.

4	Adding Array of Sou	urces or Receivers along H-line	×					
	N items distant default	s are set on top of a row, possibly buried, within x-interval [X1, X2] a ce Step between them. If Step = 0.0, it is determined automatically. The t X1 and X2 are minimal and maximal values respectively. N > 1.	e					
	Array Item	N X1 X2 Step Depth						
t	Source	10 0.006 299.994 0.0 0.0						
t	O Receiver Distance on h-line X-Distance v Set Defaults							
1								
	Add Cancel Cancel All Close <table-cell> Help</table-cell>							
+								

Рис. 1. Диалог создания расстановки вдоль h-линии.

Далее говорим об источниках. Они размещаются вдоль h-линии, которая служит кровлей выделенного ряда. Доступны следующие варианты расстановки.

- Размещение N источников в интервале абсцисс [X1, X2]. Следует задать N, X1, X2 и положить Step = 0.
- 2. Размещение N источников в интервале абсцисс [X1, X2] с заданным шагом. Следует задать N, X1, X2 и Step.

В случае 1 шаг рассчитывается программой. В случае 2 может быть размещено менее N источников. Во всех случаях можно определить заглубление *Depth* относительно h-линии, а также задать способ измерения расстояний между источниками. Он выбирается из выпадающего списка *Distance on h-line*. Под расстоянием можно понимать либо расстояние между проекциями точек на ось X (X-Distance), либо расстояние, измеренное вдоль кривой. Различие значимо при достаточно большой кривизне h-линии. Если в поле X1 или X2 введено недопустимое значение, оно исправляется автоматически во время выполнения операции.

Щелчок по копке Add запускает операцию. По завершении сообщается о числе реально добавленных источников. При этом диалог не закрывается. Его следует оттащить в сторону, чтобы посмотреть на результат. Операцию можно отменить щелчком по кнопке *Cancel*. Попытка добавить ту же расстановку вызовет сообщение об ошибках разрешения. Но можно добавить другую расстановку вдоль той же h-линии – с другим интервалом [X1, X2] и/или другим шагом. Кнопка *Cancel All* отменяет все добавления, выполненные после вызова диалога. Кнопка *Close* закрывает диалог.

Создание линейной расстановки

Эта операция позволяет создать расстановку вдоль прямой линии с любым наклоном. Линия задается как верхнее или левое ребро подходящим образом подобранного прямоугольника, или любая из его диагоналей. Прямоугольник совпадает с резиновым контуром. В рк-меню надо выбрать команду Add Inline Array. Команда выводит диалог, показанный на рис. 2а.

a Adding Inline Array(s) of Sources or Receivers	🔳 Source List			×
Rectangle To Define A Line	Mark items f Move), us	for an operation sing the list popu	(Delete p menu	or
	30 sources		6 mai	ked
Left 77.824 Top -6.8900	ID	X Z	Mark	^
2	3	25.000 1.98	00	
Right 143.933 Bottom -33.3726	4	35.000 1.98	00	
	5	45.000 1.98	* 00	
TT	6	55.000 1.98	00 *	
Default Largest Diagonal slope: 21.83"	7	65.000 1.98	* 00	
	8	75.000 1.98	• 00	
Line # 1 🗧 Line number and direction are shown on the picture.	9	85.000 1.98	00	
Аггау	10	95.000 1.98	* 00	
Array consists of $N \ge 1$ items set at distance D, with IDs increasing in	11	105.000 1.98	00	
the line direction. If D = 0, it is calculated by the program.	12	115.000 1.98	* 00	
Array item: Source O Receiver N 10 D 0.0	13	125.000 1.98	00	~
Add Cancel Cancel All Close (e)	Sources Receivers Delete	ΔX 1 ΔZ 0. + Move	5 0 Mov	•
a		b		

Рис. 2. Редактирование системы наблюдений. а – создание линейной расстановки; b – работа из списка.

Прежде всего, в нем можно скорректировать прямоугольник, а тем самым и положение прямой линии. Для этого используются поля ввода *Left, Right, Bottom, Top.* Если в поле введено недопустимое значение, оно исправляется автоматически во время выполнения операции. Под ними выводятся ширина и высота прямоугольника и наклон диагоналей. Ссылки *Default* и *Largest* устанавливают исходный прямоугольник и максимально возможный. Рисунок на левой панели объясняет, как нумеруются и какова ориентация каждой из четырех прямых, задаваемых прямоугольником. Направление на прямой указывает, в каком порядке нумеруются новые источники (приемники). Номер нужной прямой выбирается в поле *Line*, число источников – в поле N, а шаг – в поле D. Соглашения об интерпретации программой значений N и D такие же, как в предыдущем пункте. Щелчок по кнопке *Add* добавляет расстановку, но диалог не закрывается, предоставляя возможность посмотреть на результат, отменить операцию (*Cancel*) или провести другую операцию добавления. Кнопка *Cancel All* отменяет все добавления, выполненные с момента вызова.

Удаление

82

Предусмотрено два способа удаления объектов системы наблюдений. Первый состоит в захвате объекта (объектов) резиновым контуром и применении команды *Delete* в рк-меню. Она дает возможность указать, что удалять: источники, приемники, или все объекты. Второй способ описан в следующем пункте.

Работа со списком источников (приемников)

Для определенности речь пойдет об источниках. Список источников в модуле Spread Editor является инструментом редактирования. Он используется для удаления и перемещения произвольных групп источников. Группа задается посредством маркировки. Но в данном случае маркер не цветовой, а звездочка в колонке *Mark* (рис. 2b). Команды выделения помещены в контекстное меню списка (таблица 2).

Команда	Клавиша	Описание
Mark/Unmark	Ctrl+Click	Ставит/снимает отметку выделенной строки списка.
Mark Range	Shift+Click	Отмечает диапазон между выделенной и ранее отмеченной строками.
Mark All	Ctrl+A	Отмечает все строки списка.
Unmark All	Ctrl+U	Снимает все отметки в списке.
Filter Marked	Ctrl+F	Включает/выключает фильтр вывода только маркированных строк

Таблица 2. Операции выделения в Списке источников

Операции над маркированными источниками выполняются после щелчка по кнопкам *Delete* (удалуть) или *Move* (переместить). Кнопки *Move* доступны, если хотя бы одно из значения полей X и Z отлично от 0. В них вводится значение шага перемещения для последовательности сдвигов или полная величина перемещения, если она известна заранее – для однократного сдвига. Программа контролирует ошибки разрешения и выхода за допустимые пределы области, которые могут возникнуть при перемещении. Список источников выводится в окне, которое не является диалоговым, так что главное окно модуля остается доступным, но все операции редактирования в главном окне запрещены.

Создание полного Каталога лучей

При попытке выхода из модуля, он сохраняет наборы источников и приемников, но только в том случае, если каждый из наборов не пуст. При этом создается заново полный Каталог лучей, в котором записаны всевозможные пары источник-приемник. Полный Каталог лучей создается и при копировании системы наблюдений из SRT-порта.

Удаление лишних лучей

Полный Каталог может противоречить условиям конкретной задачи моделирования. Ненужные для задачи лучи можно исключить с помощью модуля Ray Catalog Editor (RCE). Команда запуска – *Edit Ray Catalog Database* в меню Дерева обработки на узле Observations. Внешне главное окно модуля не отличается от окна программы просмотра Каталога <u>Ray Catalog Viewer</u>. Представление Каталога лучей в редакторе в точности такое же, как в RCV. Но таблица *Receivers* в нем имеет контекстное меню. Оно содержит команды удаления приемников (а значит, лучей) по разным критериям. Кроме того, сама таблица *Receivers* допускает множественное выделение (подробнее в последнем <u>пункте</u>). Список команд приведен в таблице 1.

Команда	Описание
Delete Selected Rays	Удаляет из таблицы лучи, отвечающие выделенным приемникам.
Delete on Offset Condition	Удаляет лучи к приемникам, удовлетворяющим заданным условиям на удаления (см. ниже).
Delete Each Second Ray	Удаляет каждый второй луч, считая с первого.
Delete All Rays for this Source	Удаляет все лучи, порожденные источником, выделенным в таблице Sources.

Таблица 1. Команды удаления и восстановления RCE

Удаление лучей по условию на удаления

Команда Delete on Offset Condition выводит диалог (рис. 1) для задания условия на удаления.

Removal of Rays Depending on Offsets X
A ray is excluded if it starts at source S and ends at receiver with the x-offset D satisfying the condition D < D1 OR $D > D2$
Operation Range: S is the selected source S is any source Offset Bounds: D1 D2 D1 < D2. Leave D1 or D2 empty to reduce the condition to one inequality.
Delete Rays Cancel 😢 Help

Рис. 1. Диалог формирования условия для удаления лучей.

Условие имеют вид D < D1 или D > D2, где D – это х-удаление, т.е. расстояние между проекциями источника и приемника на ось X. Значения D1 и D2 вводятся в одноименные поля. Одно из полей можно оставить пустым. Это будет означать отсутствие в условии соответствующего неравенства. Операция может быть применена либо к лучам, отвечающим выделенному в таблице *Sources* источнику (selected source), либо к лучам, порожденным всеми источниками (any source). Выбор осуществляется щелчком по одной из радио-кнопок. Кнопка *Delete Rays* запускает операцию.

Завершение RCE

При завершении RCE проверяет, не образовались ли после удалений источники и/или приемники, не входящие в список лучей. Если да, они удаляются из Каталога.

Особенности таблиц Каталога лучей

Для отображения таблиц реляционной базы данных модули Ray Catalog Viewer и Editor используют не элемент управления *список*, а специальную компоненту, которая работает непосредственно с базой данных. Курсор экранной таблицы (цветовой маркер) указывает на *текущую* запись БД. В модуле RCE, где используется множественное выделение, дополнительный указатель на запись находится на левом поле. Без него не понятно, является запись текущей или выделенной. Выделенная запись на экранной таблице отвечает *закладке* на уровне данных. Соответственно, указатель имеет три формы: стрелку для текущей записи: **)**; точку для закладки: **)**; стрелку с точкой **)** при совпадении закладки с текущей записью. Чтобы поставить первую закладку, следует щелкнуть по строке экранной таблицы. Последующие закладки ставятся щелчком с нажатой клавишей Ctrl. При этом щелчок по строке таблицы всегда делает запись текущей. Повторный щелчок с Ctrl убирает закладку. Итак, множественное выделение – это расстановка закладок. Заметьте, что клавиша-стрелка перемещает указатель текущей записи, убирая при этом все расставленные закладки.

Прямая задача

1 Обзор

Решение, просмотр и анализ решения прямой кинематической задачи занимает центральное место в обработке. Решение прямой задачи (трассировка лучей) является конечной целью проектов моделирования и обязательным этапом проектов обращения. Решение прямой задачи является также самой затратной по времени операцией. Именно она определяет адекватность используемой вычислительной системы.

В проектах обоих типов этап решения прямой задачи начинается после формирования системы наблюдений. Входными данными для трассировки лучей являются модель и Каталог лучей. В меню Дерева обработки на узле Observations подается команда *Solve Forward Problem*. В Дереве создается дочерний узел Forward Problem. Затем запускается модуль Forward Problem Solver (**FPS**), в окне которого пользователь формирует задание, и который после запуска управляет ходом решения. При отказе от решения или при ошибках решения вновь созданный узел Дерева удаляется. При успешном завершении в папку этого f-узла помещаются результаты. Они включают обновленную версию Каталога лучей и файл лучевых путей. На новом f-узле запускается модуль Forward Problem Solution Viewer (**FPV**). В нем на фоне модели изображаются трассированные лучи или выборки лучей, наблюденные (в I-проектах) и расчетные годографы. С помощью встроенных в него инструментов осуществляется статистический анализ невязок времен, исследуется плотность лучевого покрытия и производится подготовка к решению обратной задачи. Короткие имена модулей FPS и FPV будут использоваться в этой главе без пояснений.

2 Mogyль Forward Problem Solver

Запускаем FPS на о-узле Дерева обработки. Сеанс решения прямой задачи состоит из четырех действий:

- a) подготовка задания (task);
- b) запуск и выполнение (execution);
- c) изучение протокола (log);
- d) сохранение решения в выходной Каталог лучей.

Можно опустить шаг с) и объединить b) и d), если пользователь уверен в успехе. Работа пользователя связана, в основном, с подготовкой задания. Оно включает:

- выборку волн, лучи которых подлежат трассировке всегда;
- подготовку информации для обменных волн если они включены в задание;
- изменение точности трассировки (Ray Tracing Precision, RTP) редко;
- изменение параметров выполнения иногда.

Выбор волн

При запуске модуль выводит список волн, для которых может быть решена прямая задачи. Он составляется автоматически из волн, входящих в список волн проекта. В случае М-проекта в него включается ныряющая (проходящая) волна и те отраженные и головные волны, для которых в модели определены соответствующие горизонты (подробнее здесь). В случае I-проекта дополнительно требуется,

чтобы Каталог лучей содержал наблюдения этих волн. На рис. 1 показан фрагмент главного окна со списками волн и горизонтов.

The Job list is made up a Ray Catalog. The user h and, if the job includes c	ccording to as to check onverted w	o project k waves, fr vaves, defi	type, available or which Forw ine conversion	waves, h ard Prob coefficie	lorizor lem is ents an	to be solution of the solution
Vaves	FORWAR	RD PROBL	EM JOB	Hori	zons	
Wave	Rays	I-Flags	R-Flags	#	ID	CC
🗸 📘 0 Diving	3600			1	1	0.800
🗹 📃 1-0 Reflection	3600			2	2	0.850
2-0 Reflection	3600			3	3	0.700
🗸 📒 3-101 Reflection-c	3600	111	c11			
🗸 📕 3-102 Reflection-c	3600	111	cc1			
3-103 Reflection-c	3600	111	clc			

Рис. 1. Задание: списки волн и горизонтов.

В списке волн указано число лучей в Каталоге, а для обменных волн — и флаги конверсии (см. ниже). В списке горизонтов для каждого указан порядковый номер в модели, ID и коэффициент конверсии СС. По умолчанию СС = 1 (нет конверсии). В списке волн у каждой волны поднят флажок, означающий, что волна включена в *задание*. Для составления нужной выборки волн следует использовать эти флажки, а также можно использовать ссылки *Check All* (отметить все) и *Uncheck All* (снять все галочки).

Подготовка информации для обменных волн

Тот факт, что волна является обменной, отражено в ее ID. На рис. 1 это три последние волны. Для каждой обменной волны следует задать флаги конверсии. Каждый флаг относится к одному горизонту модели. Значения флага обозначаются символами "с" и "1". Первый означает "есть конверсия", второй – "нет конверсии". Если имеется N границ, следует задать N флагов. Последовательность флагов составляет строку из указанных символов, например, "11c1c1...1c". Номер символа в строке равен номеру горизонта в модели, считая сверху вниз. Если k-й флаг равен "с", скорость распространения волны в k-м слое равна CC_k · V, где CC_k – коэффициент конверсии для k-го горизонта, а V – скорость в модели. Флаги конверсии задаются отдельно для падающей и отраженной волны, так что обменной волне соответствует две строки флагов. Длина строк равна номеру горизонта, на котором образовалась волна. Если какая-то волна испытывает конверсию при переходе через k-й горизонт, коэффициент конверсии для него в списке горизонтов должен быть отличен от 1.

Для редактирования флагов и коэффициентов конверсии следует раскрыть панель *Conversion Specification*, щелкнув по копке "+" (рис. 2).

Conversion Flags		Conv. Coefficient
Conversion flag for a string of flags for e	a horizon is 'c' (conversion) or '1' (no). Define each converted wave.	CC changes model velocity V in a layer
Incident wave (I)	111 1	for CC * V.
Reflected/head (R)	c1c 1	CC 0.700 ↑

Рис. 2. Задание: флаги и коэффициенты конверсии для обменной волны.

86

Строки флагов редактируются в полях *Incident wave* (падающая волна) и *Refracted/head* wave (отраженная/головная волна). Поля доступны, только если в списке волн выделена строка с обменной волной. В каждую позицию строки можно вводить только символы флагов. Редактирование завершается щелчком по кнопке¹. Удобнее всего вести редактирование на клавиатуре, учитывая, что:

- 1) комбинация [Shift + ↓] перемещает фокус из списка волн в поле *Incident wave*;
- 2) комбинация [Shift + 1] перемещает фокус из любого поля флагов в список;
- 3) клавиша 1 в поле флагов эквивалентна кнопке 1.

Подобным же образом редактируются значения коэффициентов конверсии в списке горизонтов.

Точность трассировки лучей

Это параметр алгоритма. Изменение значения по умолчанию может повлиять на гладкость лучевой картины. При густой решетке изменять параметр не имеет смысла. Увеличение точности сильно увеличивает время решения. Точность связана с разрешением и часто возможностей для регулировки просто нет. Если она все же есть, то изменить точность можно так. Раскройте панель *Ray-Tracing Precision* копкой "+". Регулировка по принципу увеличить-уменьшить осуществляется ползунком, которой можно перемещать между положениями *High* (высокая) и *Low* (низкая). Значение по умолчанию восстанавливается щелчком по ссылке *Default*. Точность задается отдельно по каждой переменной. Переключение ползунка между переменным X и Z осуществляется одноименными радио-кнопками.

Выполнение

Щелчок по кнопке *Start* запускает сеанс решения прямой задачи. Модуль FPS разбивает все множество лучей, подлежащих трассировке, на группы. Группа содержит лучи одной волны от одного источника. Трассировку лучей одной группы выполняет программа Ray Tracer (RT). Это имя встречается в протоколе. У RT нет окна, и его активность не заметна. Если компьютер имеет обычный процессор, то FPS последовательно выдает задания RT на трассировку групп лучей. Если процессор многоядерный, то FPS запускает несколько экземпляров RT и закрепляет каждый за своим логическим процессором. В этом случае одновременно (concurrently) обрабатываются несколько групп. Так алгоритм адаптируется к возможностям компьютера.

Распараллеливание сказывается на времени решения (см. пример в разделе <u>Что нового в версии 3?</u>), но меньше, чем мог бы ожидать пользователь. Дело в возрастающих накладных расходах системы и обмене с диском. Решение прямой задачи занимает все свободные ресурсы процессоров, поэтому не следует запускать одновременно с FPS другие ресурсоемкие приложения.

Процесс выполнения отображается в окне FPS прогрессором. Над прогрессором выводится список групп, обрабатываемых в настоящее время (рис. 3). Группа представляется строкой <волна>/<ID источника>. Выполнение можно прервать кнопкой *Abort*.



Рис. 3. Отображение хода выполнения.

Протокол. Потерянные лучи

88

После завершения трассировки лучей следует просмотреть протокол решения. Он содержит задание и информацию по каждой группе лучей. Факт завершения решения без ошибок еще не означает успеха. Успех определяется малой долей потерянных лучей. Наличие пары источник-приемник во входном каталоге лучей означает не более, чем *намерение* трассировать этот луч. *Возможность* трассировки определяется в процессе трассировки. Луч от источника может не дойти до приемника при данном распределении скорости. Например, он может выйти за пределы модели. Большой процент потерянных лучей говорит о несоответствии системы наблюдений распределению скорости. В случае I-проекта он говорит о неверной подготовке данных, но чаще, – о неверном выборе скоростной модели. Изучение протокола полезно для прояснения ситуации.

Сохранение решения

Если решение признано успешным, его следует сохранить. Кнопка *Save* запускает перенос результатов из временных хранилищ в выходной Каталог лучей и файл лучевых путей. Протокол выполнения сохраняется в f-узле и может быть прочитан в любой момент с помощью команды *View FPS Log* из меню Дерева обработки. Каталог лучей можно просмотреть по команде *View Catalog of Traced Rays*, поданной на f-узле после завершения FPS.

Если решение забраковано, следует выйти из FPS без сохранения. В этом случае, а также при завершении с ошибкой или из-за пользовательского прерывания, новый f-узел удаляется из Дерева, но протокол сохраняется. Его можно прочитать той же командой *View FPS Log*, но вызванной на о-узле. Команда выводит список протоколов неудачных сеансов решения прямой задачи на этом о-узле. В списке протоколы представлены временами их создания. Список имеет меню для чтения протокола и удаления. Открыть протокол можно также двойным щелчком мыши по нужной строке.

Параметры выполнения

Описанный выше процесс выполнения можно несколько изменить настройкой двух параметров (ссылка *Execution Options*). Если установлен *флаг автосохранения* (auto-save), FPS выполняет сохранение решения сразу после успешного завершения трассировки лучей. Индекс параллельности (concurrency index) – это число логических процессоров, используемых для решения прямой задачи. По умолчанию, он равен числу логических процессоров в системе. Формально индексу можно присвоить и большее значение, но это вряд ли приведет к ускорению решения, поскольку процессоры практически не простаивают.

3 Лучевая картина

Изображение трассированных лучей – функция графического модуля Forward Problem Solution Viewer (FPV). В І-проекте он, кроме того, реализует анализ невязок времен. Цель анализа – изучение невязок наблюденных и расчетных времен. По результатам анализа делается вывод о том, в какой степени использованная при трассировке модель согласуется с наблюденными временами, и принимается решение о дальнейших действиях. Либо модель считается результатом интерпретации, либо требуется ее уточнение. Если уточнение будет проводиться путем решения обратной задачи томографии, FPV – при необходимости – реализует замораживание скорости в подобластях модели и формирует выборки лучей для обращения. Если интерпретируется слоистая модель, сказанное выше может относиться к определенному интервалу разреза.

Описанию FPV посвящены этот и оставшиеся разделы главы. Порядок изложения:

- вывод лучей и годографов;

- создание выборок лучей;
- статистики и распределения невязок;
- плотность лучевого покрытия;
- подготовка к обращению;
- экспорт в графические и ASCII файлы.

Как графический модуль FPV отличается от всех остальных наличием двух планшетов. М-планшет выводит модель и лучи, Т-планшет – расчетные годографы (TX-curves), а в I-проектах – и наблюденные годографы. Т-планшет может быть пристыкован (docked) к М-планшету в главном окне, либо выводится в отдельном окне. Соответственно, в меню *View* включены команды *Show TX-Plot* и *Dock TX-Plot*, а на панель инструментов добавлены дублирующие кнопки. Выводом лучей и их выборок управляет меню *Rays*, а также кнопка Ж с выпадающим меню. Это последнее будем называть *л-меню*.

Вывод лучей

При запуске на f-yзле FPV показывает только M-планшет с изображением модели. Чтобы вывести лучи, в л-меню выбираем команду *Display All Rays*. После завершения рисовки видим лучевую картину (ray picture). На рис. 1 показана лучевая картина для выборки лучей. Число лучей указано на статусной панели справа. Наряду с лучами, могут изображаться источники и приемники. Л-меню содержит команды-переключатели *Show…*, позволяющие при перерисовке M-планшета выводить источники, приемники и лучи. Команда *Show All* просто переключает предшествующие команды в положение "показать". Когда лучи выведены на планшет, блокирована прокрутка колесиком мыши. Используйте перетаскивание точки планшета с нажатой клавишей Ctrl.



Рис. 1. FPV: М-планшет с выборкой лучей.

Напомним, что атрибуты рисовки лучей и расчетных годографов определяются волной и находятся в ведении <u>Менеджера волн</u>. К этим атрибутам не относится толщина линии луча (по умолчанию, 1 пиксель). Изменить толщину луча, а также атрибуты рисовки источников, приемников и наблюденных времен можно командой главного меню *Properties Drawing Attributes*. Меню *Properties* содержит дополнительную

команду Special Grid Colors. Она вызывает диалог, в котором можно изменить все цвета, которые приходится настраивать в FPV.

Ray List	102	rays	Ray Path				Traveltime	7.18
Source ID	Receiver ID	*	Point #	х	z	Row/Col	Link time	-
1	1		1	0.000	-0.010	1/5	0.000	=
1	4		2	0.138	-0.124	1/5	0.094	
1	7		3	0.294	-0.250	1/6	0.105	
1	10		4	0.366	-0.290	2/6	0.042	
1	12		5	0.594	-0.457	2/7	0.144	
- 1	15		6	0.641	-0.500	2/8	0.033	
1	10		7	0.821	-0.624	3/8	0.109	
1	19		8	1.008	-0.750	3/9	0.112	
1	22		9	1.049	-0.783	4/9	0.026	
1	25		10	1.277	-0.928	4/10	0.131	
1	28		11	1.389	-1.000	4/11	0.064	
	20		12	1.504	-1.077	5/11	0.066	
1	31	Ŧ	13	1.732	-1.211	5/12	0.125	-

Рис. 2. FPV: вывод лучевых тьраекторий.

Команда главного меню Rays/Ray Paths as Tables выводит лучевые траектории в виде иерархии таблиц (рис. 2). Ведущим ключом при выводе является волна. Она выбирается из выпадающего списка внизу. Левая таблица Ray List выводит перечень лучей данной волны. В ней луч идентифицируется ID источника и ID приемника. Правая таблица Ray Path выводит траекторию луча, выделенного в таблице Ray List. Точки луча (points) пронумерованы от источника к приемнику (первая колонка). Для каждой точки выводятся координаты, индекс ячейки решетки (Row/Col), а также время пробега по звену луча (Link Time) от предыдущей точки до данной. Полное время пробега (traveltime) выведено над таблицей. Концевые точки луча совпадают с источником и приемником.

Вывод большого числа лучей

Лучевые пути хранятся в файле, размеры которого для содержательных задач могут составлять десятки и сотни мегабайт. Время вывода такого количества информации зависит от производительности центрального и графического процессоров рабочей станции и скорости обмена с диском. Дело не только в однократном выводе, а в необходимости перерисовки при манипуляциях с окном FPV: изменении размеров, увеличении, выделении подрешетки и пр. Вообще *при большом числе лучей следует работать с выборками лучей* (см. следующий раздел). Все же, чтобы не превращать работу в постоянное ожидание, имеется возможность прервать вывод лучей. Если общее число лучей более 5000, то при выводе на инструментальной панели появляется кнопка **К** ^{STOP}. Щелчок по кнопке останавливает вывод на экран и сбрасывает переключатель вывода лучей. Дальнейшая работа с окном происходит без рисовки лучей, пока пользователь не включит ее в л-меню. Пока лучи рисуются, изменение размеров окна и прочие операции блокированы.

Вывод годографов. Т-планшет

После первого вывода лучей в сеансе работы FPV активизируется команда View/Show TX-Plot и кнопка TX на панели инструментов. Щелчок по кнопке выводит в верхней половине окна Т-планшет, а на нем – годографы ОПВ, построенные по расчетным временам (рис. За). В І-проекте на том же планшете выводятся наблюденные годографы. Расчетные годографы используют атрибуты рисовки волны и

выводятся поверх наблюденных. Линию раздела планшетов можно перетаскивать курсором. Планшеты синхронизированы по выборке лучей. Это значит, что выводятся только времена пробега по лучам, которые выводятся на М-планшете.



Рис. 3. FPV: Т-планшет. а – пристыкован к М-планшету (docked); b – автономный режим вывода (undocked).

Т-планшет имеет лупу и селектор годографов. Годограф выделяется резиновым контуром по самой левой и верхней точке внутри контура. Выделенный годограф можно просмотреть в виде таблицы. Диалог с таблицей и дополнительными сведениями о годографе выводится командой *Selected TX-curve in Detail* в меню планшета. Оба планшета Х-синхронизированы. Это значит, что использование лупы в одном из них влечет изменения, касающиеся координаты Х, в другом. Вывод годографов требует значительно меньше времени, чем вывод лучей. Прерывание рисовки годографов не предусмотрено.

После первого вывода Т-планшета в сеансе работы FPV активизируется команда-переключатель *View*/ *Dock TX-Plot*. Если у команды стоит галочка, Т-планшет выводится, как описано выше, в составе главного окна (связанное состояние, docked). Если выбрать команду *Dock TX-Plot* в этом состоянии, Т-планшет появится в отдельном окне, а главное окно целиком будет занято М-планшетом (автономное состояние, undocked, рис. 3b). Используя эту команду можно переключать режим вывода, если необходимо. Особенности автономного состояния:

- в меню Т-планшета появляется команда Dock;
- команда View/Show TX-Plot показывает или скрывает Т-планшет, сохраняя состояние;
- команда View/Tile horizontally располагает главное окно и окно Т-планшета рядом, так что каждое занимает половину экрана;
- Х-синхронизация включается/выключается командой *Sync Grid and TX plots*, которая имеется и в меню *View* главного окна, и в меню Т-планшета.

4 Выборки лучей

Осмысленные выборки лучей нужны для изучения лучевой картины. Но главное их назначение – отбор лучей для обратной задачи. В последнем случае создается оптимальная выборка лучей, освещающих изучаемый интервал разреза, а также имеющих невязки, лежащие в разумном диапазоне. Построение выборки запускается командой *Rays/Create Ray Sample* или кнопкой Ж. Оно выполняется модулем Ray Sample Builder (окно FPV при этом не доступно).

Критерий выборки

Поля главного окна модуля Ray Sample Builder (рис. 1а) хранят условия, из которых критерий выборки составляется посредством логической операции "И".

Ray Sample Builder	Wave/Offset Condition	8
A ray sample is defined by lists of waves, sources and receivers, a condition on time error value and also by requirement that rays pass through a given subgrid.	Use list context menu or exclude waves. For 2D pro if necessary. The ran	double-click to include or filing, restrict x-offset range ge [0,0] means "any".
	Wave	01 02
Waves and Offsets	0 Diving	0.000 100.000
🗧 0 Diving. Offset range: Any 💌 📝 Edit	1-0 Reflection	0.000 0.000
Sources Receivers Image: 1 Image: Create	1-2 Head	0.000 0.000
Time Errors (Residuals)		
ABS(Ea) <= 0.01 AND Er <= 0.05		
Ray path intersects selected subgrid	O1 0.000 O2 100	.000 1 ОК
a	1	h

Рис. 1. Модуль Ray Sample Builder. а – главное окно; b – составление условия "волны и удаления".

Поле Waves and Offsets (Волны и удаления) является списком волн и диапазонов удалений. Только лучи указанных волн с расстоянием источник-приемник из указанных диапазонов войдут в выборку. Расстояние понимается как расстояние между проекциями на ось ОХ. Поля Sources и Receivers содержат списки источников и приемников. Поле *Time Errors* содержит условие на абсолютные и/или относительные невязки времен, состоящее из одного или двух неравенств, соединенных логическими операциями "И"("AND") или "ИЛИ" ("OR"). Поле доступно только для I-проектов. Если оно пусто, то игнорируется. Флаг *Ray Path...*, если он поднят, ограничивает выборку лучами, пересекающими область модели, которая была выделена перед запуском модуля.

Создание/изменение условий

Кнопка *Edit* выбрасывает меню для выбора условия. Каждая команда меню открывает диалог для редактирования. Диалог, который открывает команда *Waves* (рис. 1b), выводит список всех волн, обнаруженных в Каталоге трассированных лучей (далее – Каталоге лучей), но только волны, отобранные для выборки лучей, имеют цветовые значки. Двойной щелчок или первая команда контекстного меню включает/исключает волну. Две другие команды включают/исключают все волны. Колонки O1 и O2 содержат границы диапазона удалений. Их значения для выделенной строки редактируются в одноименных полях под списком. Редактирование должно завершиться либо клавишей ↑, либо щелчком по кнопке со стрелкой. Тогда новые значения попадут в список. Кнопка *OK* формирует новое условие в виде списка в главном окне модуля. Если O1 = O2 = 0, ограничений на удаления не накладывается.

92





Диалог, выводимый командой *Sources*, показан на рис. 2а. Слева находится список всех источников в Каталоге лучей. Те, что включаются в выборку, помечены значком в первой колонке. Включение/исключение осуществляется двойным щелчком по строке списка. Операции по включению/исключению групп источников организуются на правой панели. Можно определить группу одним из четырех способов:

- все источники (AII);
- источники с ID из заданного интервала;
- каждый Ј-й источник, начиная с К-го;
- все источники с абсциссами из заданного интервала.

Когда операция выбрана, и интервал определен, надо щелкнуть по ссылке *Include* (включить) или *Exclude* (исключить). Кнопка ОК формирует список отобранных источников в главном окне модуля. Приемники отбираются в точности так же.

Команда Edit/Errors выводит диалог с клавиатурой для набора условия (рис. 2b). Компоненты допустимых неравенств являются клавишами. Числовые значения вводятся в поле Value после щелчка по нему. Метка Inequality N (N = 1 или 2) показывает, какое неравенство находится в фокусе ввода. Клавиша ОК завершает редактирование.

Создание и вывод выборки. Текущее множество лучей

После формирования условий выборки щелкните по кнопке *Create*. Ray Sample Builder выполняет поиск нужных лучей, сохраняет выборку и завершает работу. Выборка лучей выводится на М-планшет, соответствующие годографы – на Т-планшет. Объем выборки можно увидеть на статусной строке. Выборка лучей хранится в базе данных выборки, отдельно от Каталога лучей. FPV может визуализировать оба хранилища по очереди командами л-меню *Display All Rays* или *Display Last Ray Sample*. Выбранная команда помечается жирной точкой слева. Удобно выбранное множество лучей (Все лучи или Выборка) назвать *текущим*. Лучевая картина всегда относится к текущему множеству лучей. О том, каково текущее множество, можно судить и по надписи в статусной панели. Просмотреть критерий последней выборки можно, либо запустив Ray Sample Builder (он всегда сохраняет критерий), либо – в текстовой форме – по команде *Last Sample Description* в меню *Rays* или л-меню.

Сохранение выборок лучей для обращения

Речь, понятно, идет об I-проекте. Если выборка сделана для цели, указанной в заголовке пункта, то сохранить ее следует так:

- завершить FPV и перейти в Менеджер проектов;
- выделить в Дереве f-узел, в котором сделана нужная выборка лучей;
- щелкнуть по кнопке копирования узлов Дерева (команда Processing Tree/Copy Node).

Менеджер проектов создаст в Дереве узел-близнец и поместит туда нужные данные. Задачу обращения следует запускать на этом новом f-узлe, который называется *виртуальным* в знак того, что он не образовался в результате решения прямой задачи. Можно сохранить несколько выборок из каждого настоящего f-узлa, т.е. создать несколько виртуальных узлов. Виртуальные узлы имеют измененный значок, и в Дереве их легко узнать. Если применить команду *View FPS Log* на виртуальном f-узлe, то вместо протокола решения выводится текст, который содержит информацию об f-узлe, в котором была создана выборка, и описание выборки. Виртуальный f-узел можно создать только из настоящего f-узла.

5 Изучение невязок в І-проекте

Статистики

Команда *Error Statistics* имеется в обоих меню Т-планшета: контекстном меню и рк-меню. В первом случае она применяется к <u>текущему множеству лучей</u>, во втором — к невязкам времен точек (X, T) внутри резинового контура. Результаты вычислений в обоих случаях выводятся в диалоге, показанном на рис. 1. При вызове диалога из рк-меню область выделения на планшете подсвечивается.

~~~~	Solute Error Ea	= 10 - 10	
Statistic	All Rays	Ea >=0	Ea < 0
Number of rays	2903	1754	1149
Mean value	0.00022	0.00056	-0.00031
Minimal value	-0.00155	0.00000	-0.00155
Maximal value	0.00267	0.00267	0.00000
Median	0.00012	0.00039	-0.00026
Std deviation	0.00062	0.00054	0.00026
R	elative Error Er	= Ea / Tc	
Mean value	0.00009	0.00024	-0.00015
Minimal value	-0.05380	0.00000	-0.0538
Maximal value	0.08960	0.08960	0.0000
Median	0.00001	0.00003	-0.0000
Std deviation	0.00302	0.00350	0.00208

Рис. 1. Диалог для вывода статистик невязок.

Рассчитываются следующие статистики: число лучей в текущем множестве, среднее, минимальное и максимальное значения, медиана и стандартное отклонение. Статистики вычисляются для абсолютной невязки Ea = To — Tc (верхняя таблица) и относительной невязки Er = Ea/Tc (нижняя таблица); To и Tc — наблюденное и расчетное время пробега по лучам. Расчет проводится одновременно для всех лучей (колонка 1) и подмножеств лучей с положительными и отрицательными невязками (колонки 2 и 3). Результаты по невязками разных знаков несут информацию о том, в каком направлении следует изменять скорость в модели, чтобы уменьшить абсолютную величину невязок.

Результаты можно вывести в текстовый файл (кнопка *Save*). В файле будет указано текущее множество лучей, а в случае выделения области планшета - в файл помещается описание этой области. Среднее и стандартное отклонение для Еа и Ег для выделенного годографа можно найти в диалоге, который выводит таблицу годографа (команда *Selected TX-Curve in Detail* меню Т-планшета).

#### Распределения относительной невязки

Статистические распределения для относительной невязки рассчитываются для текущего множества лучей. Исследуемая величина — модуль относительной невязки |Er|. Как и в случае статистик, распределения рассчитываются для трех множеств лучей: А — все лучи текущего множества; Р — подмножество лучей с положительными, N — с отрицательными невязками. Распределения представляются в виде графиков выборочной функции плотности D (гистограммы) и выборочной функции распределения С.



Рис. 2. Диалог для вывода распределений невязок.

Для вывода графиков следует в меню Т-планшета выбрать команду *Relative Error Distribution*. Она выводит диалог (рис. 2) с планшетом. При вызове на планшете изображается функция распределения D(e) для множества лучей А. Настройка планшета производится элементами управления в нижней части окна и контекстным меню планшета. Выпадающий список *Number of group intervals* позволяет подобрать оптимальное для изображений число интервалов группирования. Остальные элементы управления выводят статистики и позволяют изменить атрибуты рисовки для распределения множества лучей, выбранного в списке *Ray Set*. Контекстное меню планшета содержит переключатель "функция плотности – функция распределения" и флаги вывода графиков на планшет.

# 6 Плотность лучевого покрытия

Плотность лучевого покрытия (Ray Coverage, RC) характеризует степень покрытия модели лучами. Функции плотности можно рассчитать в проектах обоих типов, но информация о покрытии актуальна для І-проектов. Она предсказывает, насколько чувствительно решение обратной задачи томографии к изменению скорости в различных областях модели. Чувствительность высока, если область пересекается большим числом лучей, причем в разных направлениях. Напротив, в области, которую лучи не пересекают, изменение скорости не влияет (или мало влияет) на решение обратной задачи. Чувствительность прямо связана с надежностью решения обратной задачи: чем лучше освещена лучами область модели, тем надежнее в ней будет уточнена скорость.

Модуль FPV рассчитывает три функция плотности лучевого покрытия: RC, RCH, RCV. Все они заданы на решетке. Пусть **с** – ячейка решетки. RC(**c**) – это общее число лучей, RCH(**c**) – число субгоризонтальных лучей, RCV(**c**) – число субвертикальных лучей, пересекающих ячейку **с**. Луч пересекает ячейку *субвертикально*,

96

если угол между звеном луча в ячейке и вертикалью меньше  $\pi/4$  по абсолютной величине. В противном случае луч пересекает ячейку субгоризонтально.

Все три функции вычисляются один раз и затем сохраняются. Их можно вывести на планшет в виде цветных карт, а также экспортировать. Для работы с лучевым покрытием используется кнопка инструментов с выпадающим меню (гс-меню). Команды меню доступны после вычисления. Чтобы вычислить плотности покрытия, щелкните по самой кнопке. В диалоге *Ray Coverage Functions* (рис. 1а) щелкните по кнопке *Compute.* 



Рис. 1. Расчет и визуализация плотностей лучевого покрытия.

а – диалог для расчета плотностей и задания параметров карт; b – rc-меню; с – карта функции плотности RC.

После расчета функции плотности должны быть визуализированы. Поля диалога связаны с настройкой карты. Пусть F(c) – одна из функций плотности. На карте F(c) окрашены будут ячейки, для которых F(c) F₀, где F₀ задается в поле прокрутки. Цвет, которым окрашены ячейки с минимальным и максимальным значениями F(c), совпадает с цветом прямоугольников. Его можно изменить, щелкнув по нему. Цвет ячеек с другими значениями F(c) определяется посредством интерполяции между цветами прямоугольников. Величина гамма управляет смещением цветов при интерполяции и подбирается эмпирически.

После задания параметров карты можно вывести карты можно командами rc-меню (рис.1b). Имя и значения выбранной функции в ячейке под курсором выводятся в поле статусной панели для скорости. Если выбрать опцию вывода информации под курсором (*View/X,Y,V under Cursor*), то в окне подсказки появятся значения всех трех функций (рис. 1c). Для возврата к лучевой картине выберите в rc-меню команду *Hide*.

# 7 Подготовка к томографии

В сложном процессе интерпретации нередко возникает следующая проблема: как уточнить скорость с помощью томографии и гарантировать при этом, что скорость в указанных подобластях модели останется неизменной. Такая задача рутинно возникает при изучении слоистой среды, когда слои изучаются один за другим сверху вниз, так что скорость в уже изученных слоях не должна меняться (послойная интерпретация). От пользователя требуется описать подмножества модели, в которых скорость должна быть заморожена (frozen) или фиксирована (fixed). Вместо фразы "ячейка с фиксированной скоростью" будем писать "ф-ячейка" (в пользовательском интерфейсе FPV – fixed cells). При решении обратной задачи скорость в ф-ячейках не меняется.

Команды работы с ф-ячейками находятся в меню *Inversion* и дублируются кнопкой **К** и командами ее выпадающего меню (ф-меню). Первая операция – перевод FPV в режим фиксации (fix mode) кнопкой **К**. При этом она поменяет цвет на красный. Это является индикатором режима, как и надпись FIX MODE в крайнем правом поле статусной панели. Если до включения режима множество ф-ячеек уже было не пусто, они окрасятся цветом, зарезервированным для ф-ячеек. Чтобы заморозить скорость в выделенной подобласти модели, используйте команду меню M-планшета *Add to Fixed Cells* (Добавить к ф-ячейкам). Чтобы разморозить выделенные ячейки, подайте команду *Release Fixed Cells* (Освободить ф-ячеек можно изменить командой ф-меню *Change Fix Color*. Для выхода из режима фиксации следует щелкнуть по кнопке **К**. Множество ф-ячеек сохраняется после выхода из режима фиксации и из программы.

Механизм фиксации FPV включает еще возможность фиксировать скорость в ячейках в зависимости от значений в них функций плотности лучевого покрытия. Например, можно при томографическом обращении запретить изменение скорости в ячейках с нулевым или малым значением функции RC. Операция реализуется командой *RC Conditioned Fix* ф-меню. Она выводит диалог для ввода условия типа равенства или неравенства (рис. 1).

RC-Conditioned Fix/Release					
Fix/release only cells in which selected ray coverage function satifies the specified condition.					
	Fix	© R	elease	]	
	RC = 0				
	RC	<	+1		
	RCV	=	-1		
	RCH	>	ОК		

Рис. 1. Диалог для ввода условия на плотность лучевого покрытия.

Радио-кнопками выбираем тип операции: фиксация или освобождение. Условие по умолчанию имеет вид RC = 0. В нем можно изменить вид функции плотности, знак и значение. Для этого используем клавиатуру. Значение можно ввести прямо в поле условия. Можно также использовать клавиши +1 и -1 для увеличения или уменьшения текущего значения. На этих клавишах кнопку мыши можно удерживать нажатой до получения нужного результата. Клавиша *OK* дает команду на изменение множества ф-ячеек.

# 8 Экспорт

### Графика

Модуль FPV позволяет экспортировать содержимое М- и Т-планшетов в графические файлы в том смысле и таким же образом, как выполняется графический экспорт в модуле <u>Model Viewer</u>. Команда *File*/*Image Export* имеет подменю для выбора типа экспорта: *Model, Rays; Ray Coverage; TX-Curves*. Такое же меню выбрасывает соответствующая кнопка панели инструментов. Команда *Ray Coverage* доступна, только когда М-планшет изображает плотность лучевого покрытия. При этом выводится та из трех функций плотности, которая в данный момент изображена на планшете.

### ASCII файлы

Экспорт в текстовые файлы выполняется модулем FPV ASCII Exporter. Команда запуска (*File* / *ASCII Export*) доступна после первого вывода лучей. Главное окно модуля, похожее на диалог экспорта модуля Model Viewer, показано на рис. 1а. Вид экспорта выбирается из выпадающего списка Data to Export.

Доступен вывод следующих данных.

- 1. Вывод скорости с заданным условием на плотность лучевого покрытия. Скорость V выводится в файл типа <u>DAT</u> только в вершинах тех ячеек, в которых указанная функция плотности лучевого покрытия удовлетворяет заданному условию.
- 2. Вывод лучевых траекторий указанного множества лучей в файл типа <u>BLN</u>.
- 3. Вывод указанной функции плотности лучевого покрытия в файл типа DAT.
- Создание файла SRT для указанного множества лучей с аддитивным шумом во временах. В файл выводятся *расчетные времена* с возможным добавлением нормального шума. Эта опция используется для моделирования наблюденных данных.

FPV ASCII Exporter	ASCII Export Options	
Export to ASCII files is a way to expose internal XTmo-LM data to other software, in particular, to presentation graphic tools.	Velocity RC Condition RC > 0 Ray Paths Ray Set:  All Rays Last Ray Sample Ray Coverage RC Function RC SRT data Ray Set:  All Rays Last Ray Sample	
Data to Export		
V(x,z) in cells with qualified ray coverage (DAT)  RC condition: exported are values V(cell) for which RC(cell) > 0.		
Export File Name 🍃		
	Normal Mean value Std. deviation Noise: 0 0.05	
Options Export Close 2 Help	ОК	

Рис. 1. Модуль FPV ASCII Exporter. а – главное окно со списком опций экспорта; b – диалог параметров экспорта.

В каждом виде экспорта фигурируют параметры, значения которых следует определить. Это делается в диалоге, который вызывает кнопка *Options* (рис. 1b). В нем имя блока параметров, относящихся к выбранному виду экспорта, выделено цветом. В случае 1 (Velocity) тип функции плотности выбирается кнопкой-стрелкой справа от поля ввода, а пороговое значение впечатывается в поле. В случае 2 (Ray paths) следует задать множество лучей: все лучи или последняя выборка. В случае 4 (SRT data) следует выбрать множество лучей (все или последняя выборка), а затем ввести значения среднего значения и

98

стандартного отклонения шума. Чтобы вывести не зашумленные расчетные времена, следует в качестве стандартного отклонения ввести 0.

Для выполнения экспорта следует выбрать имя файла и щелкнуть по кнопке *Export*.

# Томография

# 1 Теория

### Задача томографии

Во <u>вводном разделе</u> документации обратная задача томографии сформулирована как линейная задача метода наименьших квадратов

(3a)  $|\Delta \mathbf{T} - \mathbf{D} \cdot \Delta \mathbf{V}||^2 \rightarrow \text{min.}$ 

Здесь  $\Delta V$  – искомый вектор поправок к текущему приближению  $V_0 = V_0(x, z)$  скорости в модели. Скорость определяется своими значениями в узлах решетки, поэтому это вектор, размерность которого равна числу ячеек решетки т.  $\Delta T$  – это вектор невязок наблюденных времен и времен, рассчитанных при решении прямой задачи для скорости  $V_0$ . Размерность вектора равна числу лучей k в Каталоге лучей f-узла. Наконец, **D** – это матрица с k строками и m столбцами. Элемент матрицы в i-й строке и j-м столбце является частной производной от времени пробега по i-му лучу по скорости в j-й ячейке, вычисленной при

скорости  $V_0$ . Через  $|\cdot|$  обозначена евклидова норма вектора (квадратный корень из суммы квадратов компонент вектора). Формула (За) отличается от формулы (З) во введении отсутствием значка размерности у нормы и тем, что здесь стоит квадрат нормы. Размерность нормы в нашем случае равна k и опускается. Наличие квадрата не меняет сути задачи, но упрощает формулы. Новое приближение к скорости в модели равно  $V_0 + \Delta V$ .

Переход от общей обратной кинематической задачи к обратной задаче томографии выполнен в предположении малости поправок  $\Delta V$ . При этом предположении сложный оператор расчета времени по трассированному лучу заменен на его линейное приближение. Элементы матрицы **D** удается вычислить опять же в предположении малости поправок. Трудность здесь в том, что при изменении скорости меняется и траектория луча. Однако, удается показать, что изменение времени пробега по лучу, вызванное изменением траектории, мало по сравнению с тем, что вызывается изменением величины скорости. Поэтому изменением лучевого пути можно пренебречь и считать, что он не изменился. Тогда элементы матрицы **D** можно выразить явно через время пробега в ячейке и скорость **V**₀ в ячейке.

### Регуляризация

Проблема в том, что задача (За) является некорректной (ill-posed problem). Она не является однозначно разрешимой и устойчивой к изменению входных данных. Дело в том, что гарантировать существование минимума можно только для функций определенного класса – выпуклых, а целевая функция (objective function) в (За) таковой, вообще говоря, не является. Пояснение для функций одной переменной дано на рис. 1.

Теория некорректных задач предлагает способ *регуляризации* задачи (За), т.е. изменение постановки задачи с целью сделать ее корректной (robust or well-posed problem). Задача (За) заменяется задачей

(4) 
$$|\Delta \mathbf{T} - \mathbf{D} \cdot \Delta \mathbf{V})|^2 + \alpha \cdot \mathbf{R}(\Delta \mathbf{V}) \rightarrow \min.$$

где R – известная выпуклая функция k переменных. Действительное число α > 0 называется параметром регуляризации. Его назначение ясно: с одной стороны, чем оно меньше, тнм ближе задачи (За) и (4). С другой стороны, его следует выбрать настолько большим, чтобы целевая функция (4) стала выпуклой. Функция R называется *регуляризатором* или *стабилизатором* для задачи (За).



Рис. 1. Для функции одной переменной выпуклость на области определения и наличие стационарной точки гарантирует существование и единственность минимума. Обобщение понятия выпуклости на функции многих переменных играет ключевую роль в теории оптимизации.
 а – многоэкстремальная невыпуклая функция со стационарными точками; b - выпуклая функция со стационарной точкой

Помимо обеспечения разрешимости, регуляризация позволяет в определенной степени придать решению "физичность". Процесс минимизации управляется одной целью: достигнуть минимума "любой ценой". Этой ценой может быть, например, слишком большие значения компонентов ΔV в некоторых ячейках или осцилляция ΔV при переходе от ячейке к ячейке. И то, и другое не имеет ни физического, ни геологического смысла. Подходящим выбором R можно избавиться от таких крайностей.

### Стабилизаторы

В XTomo-LM используются три стабилизатора для разных применений томографии. Стандартный стабилизатор имеет вид

 $R_{d}(\Delta \mathbf{V}) = |\Delta \mathbf{V}|^{2}.$ 

Этот стабилизатор обеспечивает единственное решение (4) при достаточно большом  $\alpha$ . Сверх того, невязки времен минимизируются одновременно (хотя и в разной степени) с поправками скорости. Поэтому упомянутая ситуация с аномальными значениями скорости исключена. В пользовательском интерфейсе этот стабилизатор называется демпфером (damper).

Если д**U** – решение задачи (4) с R = R_d, то компоненты вектора д**U** отвечающие ячейкам, через которые не проходят лучи, равны нулю. В противном случае, вектор д**U** с нулевыми компонентами в указанных ячейках не изменил бы первого слагаемого в (4), но уменьшил бы второе, что противоречит единственности решения. Значит, R_d не меняет скорость в ячейках, не освещаемых лучами.

Успешно борясь с аномальными значениями решения, Демпфер, однако, не исключает осцилляций поправок. Следующий стабилизатор R_s (smoothing damper) преследует именно эту цель. Его можно назвать глушителем осцилляций. Если бы **V** была гладкой функцией, его можно было бы записать так:

$$R_{s}(\Delta V) = R_{d}(\Delta V) + |(\Delta V)_{x}|^{2} + |(\Delta V)_{z}|^{2} = R_{d}(\Delta V) + |grad(\Delta V)|^{2}.$$

Значки х и z означают частные производные от поправок по x и z. Функция  $R_s$  включает в процесс минимизации величину градиента поправок, а значит исключает (в степени, определяемой величиной  $\alpha$ ), что минимум будет достигнут за счет резких локальных изменений поправок. В дискретном случае градиент заменяется разностями поправок в соседних ячейках.  $R_s$ , в отличие от  $R_d$ , может изменить

скорость в ячейках, через которые не проходит ни одного луча. Если этот эффект нежелателен, следует перед решением обратной задачи <u>заморозить скорость</u> в ячейках с нулевыми или малыми значениями функции плотности <u>лучевого покрытия</u>.

В геофизических приложениях томографии, особенно в глубинных исследованиях, глушитель осцилляций не вполне отражает суть дела, поскольку в земной коре вертикальный градиент скорости много больше латеральных изменений. В других приложениях ситуация может быть обратной. Более адекватным в этих случаях является направленный глушитель осцилляций R_e (evening damper):

$$R_{e}(\Delta \mathbf{V}) = R_{d}(\Delta \mathbf{V}) + \frac{\beta}{|(\Delta \mathbf{V})_{X}|^{2}} + |(\Delta \mathbf{V})_{z}|^{2}$$

Он отличается от R_s множителем  $\stackrel{\beta}{}$  перед нормой частной производной по х. Выбор подходящего  $\stackrel{\beta}{}$  позволяет добиться доминирования вертикального (>1) или горизонтального (<1) градиента  $\Delta V$ , поскольку минимизируется, в первую очередь, большее слагаемое.

### Ограничения

Еще одним средством контроля над решением являются априорные ограничения на компоненты вектора ∆V. Задача минимизации (4) является *безусловной*. Формально ее решение ищется на множестве всех векторов евклидова пространства размерности m. (Хотя мы пришли к этой задаче, предполагая малость ∆V). Вполне может случиться, что решение выходит за разумные пределы. ХТото-LM позволяет решать задачу (4) с ограничениями (constraint problem).

Первый тип ограничений – интервальные (interval constraints), т.е. условия вида

$$\mathbf{d}_1 \leq \Delta \mathbf{V} \leq \mathbf{d}_2$$

где **d**₁ и **d**₂ — заданные векторы. Более точно, XTomo-LM предлагает два вида интервальных ограничений (5) специального вида:

 $(5a) \quad v_1 \leq (\mathbf{V}_0 + \Delta \mathbf{V})_i \leq v_2,$ 

$$(5r) \qquad \mathsf{p}_1 \cdot \mathsf{V}_0 \leq \Delta \mathsf{V} \leq \mathsf{p}_2 \cdot \mathsf{V}_0,$$

где  $v_1$  и  $v_2$ ,  $p_1$  и  $p_2$  – заданные положительные действительные числа, j - индекс компоненты вектора. Ограничения (5*a*) устанавливают абсолютные границы для любого компонента будущего вектора уточненной скорости. Конечно, эти границы не должны сужать диапазон изменения  $V_0$ , иначе целевая функция может вырасти. Ограничения (5*r*) являются ограничениями на относительное изменение  $V_0$  в ходе уточнения. Можно задавать только одно из условий (5).

Второй тип ограничений – обнуление некоторых компонент вектора  $\Delta V$  (zero correction constraints):

(5f) (∆V)_i = 0, ј пробегает подмножество {1, 2, ..., m}.
Эти условия эквивалентны фиксации скорости на некотором подмножестве ячеек решетки. Ограничение (5f) можно комбинировать с интервальным.

#### Решение задачи. Рекомендации

Решение оптимизационной задачи (4) с ограничениями скрыто от пользователя. Достаточно иметь в виду следующее. Методы решения оптимизационных задач являются итерационными. Критерий остановки связан с заданной точностью решения. Если точность равна ε, и новая итерация изменяет значение целевой функции менее чем на ε, процесс прекращается. ХТото-LM использует один из градиентных методов (методов спуска, descent). Число итераций для безусловной задачи относительно невелико, если не приближаться к критической ситуации, когда задача становится некорректной (α слишком мало). Тогда число итераций резко возрастает, но требуемая точность не достигается. Задача может зациклиться. Поэтому в число параметров задачи обязательно включается предельное число итераций. Не следует завышать точность решения. Требование слишком высокой точности создает ту же критическую ситуацию, но уже из-за ошибок округления.

Задача с ограничениями существенно сложней. Когда последовательность приближений "упирается" в границу области, которая определяется ограничениями, спуск как бы начинается сначала. Общее число итераций значительно увеличивается. Сначала следует решить безусловную задачу (с замороженными, если надо, ячейками) и посмотреть, как ведет себя уточненная скорость. Если необходимость в использовании интервальных ограничений, действительно, есть, можно добавить интервальные ограничения. В задаче есть несколько параметров ( $\alpha$ ,  $\beta$ , точность и др.), поэтому сопоставление нескольких вариантов решения является обычной практикой.

### 2 Модуль обращения

Модуль Inverse Problem Solver (IPS) запускается командой *Solve Inverse Problem* на f-узле Дерева обработки. Перед запуском команда создает новый i-узел, в папке которого размещается решение. IPS реализует решение обратной задачи томографии в точном соответствии с "теорией". Пользовательский интерфейс позволяет сформировать *задание* (task) для поиска решения, т.е. задать тип регуляризации, параметры и ограничения. В главном окне программы используются в точности те же обозначения, что в предыдущем разделе.

#### Задание

При запуске модуль выводит задание по умолчанию. Редактирование задания происходит так. На первой вкладке главного окна из выпадающего списка *Stabilizer* выбирается тип стабилизатора. Внизу вкладки имеется флаг, позволяющий выбрать упрощенный прикидочный метод обращения (метод обратных проекций). Он сохранен по традиции для старых пользователей. При современной производительности рабочих станций прикидка не требуется.

Inverse Problem Solver	Inverse Problem Solver
Stabilizer Parameters Constraints	Method Parameters Constraints
Time Error Fluctuations	The solution V can be submitted to constraints of the two types.
IPS can ignore rays with too large relative time error Er.	Apply Interval Constraints
Filter off rays with   Er   > P% P 90.00	Absolute
Regularization Parameters	$v_1 \le V_0 + \Delta V \le v_2$ $p_1 \cdot V_0 \le \Delta V \le p_2 \cdot V_0$ $v_1$ 1.900 100 p1 % 20.0
Regularization parameter α 0.10 - Evenning ratio β 10.00 -	v2 6.500 100 p2 % 20.0
	Vo ranges from 1.900 to 6.500
Computing	Apply Zero Correction Constraints
Computation 0.0010 - Limit number 1500	Some of components of vector ΔV are forced to vanish on a subset of cells, which is equivalent to fixing velocity on the suset in FPV.
F2 key sets default value in focused edit fields or drop-down lists.	F2 key sets default value in focused edit fields or drop-down lists.
Task 👻 🕨 Start Close 🕜 Help About	Task 🔹 🕨 Start Close 🕢 Help About
a	h h

Рис. 1. Главное окно модуля IPS: а – вкладка "Параметры"; b – вкладка "Ограничения".

На вкладке Parameters (рис. 1а) задаются параметры задачи. Панель Time Error Fluctuations позволяет исключить из решения лучи с большими относительными невязками. На панели Regularization Parameters задается параметр регуляризации α. Если в качестве стабилизатора выбран направленный глушитель осцилляций (evening damper), здесь же задается значение параметра β. Оба параметра выбираются из списков с типичными значениями. На панели Computing выбирается точность решения и максимальное число итераций.

На вкладке *Constraints* (рис. 1b) задаются ограничения. В задании по умолчанию ограничений нет. Для определения интервальных ограничений устанавливаем флаг *Apply Interval Constraints*. Далее радиокнопками выбираем тип (абсолютные или относительные) ограничений и задаем параметры. При выборе абсолютных ограничений диапазон  $V_0 + \Delta V$  по умолчанию совпадает с диапазоном изменения  $V_0$ . Он может быть оставлен таким или расширен. Параметры относительных ограничений задаются в процентах.

Флаг Apply Zero Correction Constraints доступен, только если в модуле FPV была заморожена скорость на некотором множестве ячеек. Если флаг поднят, эта информация будет использована, иначе – нет.

Составленное задание можно сохранить в пользовательском файле. Для этого в меню кнопки *Task* выбираем команду *Save as.* Загрузить задание из пользовательского файла можно командой *Load.* Независимо от этого, последнее задание в сеансе работы с модулем сохраняется всегда. Его можно загрузить командой меню *Load Last.* Для установки задания по умолчанию используем команду меню *Default.* Для изменения значения поля редактирования или поля-списка на значение по умолчанию используем клавишу F2, когда поле имеет фокус ввода.

#### Выполнение

104

После щелчка по кнопке *Start* выводится диалог, отображающий ход выполнения (рис. 2). Он содержит два прогрессора.

Minimization effect ( % )
1500

Рис. 2. Отображение хода решения обратной задачи.

Сначала первый прогрессор отображает этап подготовки данных. Затем оба отображают ход решения. Решение выполняется модулем FTI. Это сокращение фигурирует в некоторых сообщениях. Первый прогрессор отображает степень приближения в течение одного спуска (descent). Второй прогрессор выводит число выполненных итераций. Кнопка *Stop* прерывает выполнение. Решение завершается выводом сообщения о завершении. Типичные сценарии завершения таковы.

- 1. Успех. Выводится относительное уменьшение целевой функции.
- 2. Решение найдено, но уменьшение целевой функции является незначащим.
- 3. Начальное значение целевой функции близко к нулю. Уточнения не требуется.
- 4. Процесс прерван из-за превышения предельного числа итераций ("user-defined limit number of iterations was exceeded"), причем заданная точность решения не была достигнута.
- 5. Ошибка в ходе решения, либо решение увеличивает целевую функцию.

В случаях 1—3 уточненная скорость сохраняется вместе с информацией о задании и результатах решения обратной задачи. Просмотреть ее можно командой *Info on Inversion* меню Дерева обработки. Меню надо вызвать на новом i-узле.

Остальные случаи являются ошибочными, и при выходе из IPS новый i-узел удаляется. Случай 4 при больших значениях предельного числа итераций (первые тысячи) свидетельствует о критической ситуации: при заданных значениях параметра регуляризации α и точности задача становится некорректной. Следует увеличить α и попробовать еще раз, не выходя из IPS. При изменении параметров или ограничений кнопка *Start* снова становится доступной.

# 3 Просмотр решения

Просмотр решения обратной задачи выполняет графический модуль Inverse Problem Viewer (IPS). Запуск производится командой *View Inverse Problem Solution* на i-узле. Вернемся здесь от векторной записи к функциональной и будем считать V₀, V = V₀ +  $\Delta$ V функциями ячейки решетки *с*. Модуль позволяет вывести модель с уточненной скоростью V(c), модель с начальной скоростью V₀(c) и карту относительных поправок  $\delta$ V(c) (Difference Map), которые определяются так:

 $\delta$ V(c) = 100% · ΔV(c) / V₀(c),

Кроме того, пользователь может сравнивать вертикальные профили V и V₀.

При запуске модуля на планшет выводится результат обращения — уточненная модель. По сравнению с простейшим графическим модулем Model Viewer, IPS имеет новые кнопки команды главного меню). Первая управляет содержимым планшета, вторая вызывает модуль сравнения вертикальных профилей, который входит в утилиту сравнения скоростей (подробнее <u>здесь</u>). 106

Первая кнопка имеет дополнительную кнопку-стрелку — выпадающее меню. Оно играет роль переключателя изображения на планшете с тремя положениями: уточненная (refined) скорость, начальная (initial) скорость и карта относительных поправок. Сама кнопка выводит диалог с настройками карты поправок (рис. 1а).



а – диалог настройки карты  $\delta V; b – фрагмент карты.$ 

В верхней части диалога выведены диапазоны изменения абсолютных ΔV и относительных δV поправок. Далее следует поле Р для допуска нуля *Tolerance of Zero:* если δV(с) меньше Р, то при выводе на карту δV(с) считается нулем. Этот параметр позволяет настроить карту на значимое для данной ситуации отличие скоростей. При изменении Р карта будет меняться.

Цветовые параметры карты  $\delta V$  включают три базовых цвета. Если M = max $|\Delta V(c)|$ , где максимум берется по всем ячейкам решетки, то первый цвет C₋₁ закрепляется за ячейками, в которых  $\delta V = -M$ , второй C₀ – за ячейками с  $\delta V = 0$  с учетом допуска, третий C₁ – за ячейками с  $\delta V = M$ . Цвет в ячейке с другими значениями  $\delta V$  определяется интерполяцией между C₋₁ и C₀ или между C₀ и C₁ в зависимости от знака  $\delta V$ . Интерполяцией можно управлять с помощью параметров Gamma+ и Gamma-. Изменение Gamma смещает цвет в сторону к одному из базовых цветов.

Если на решетке выделена подобласть, то при выводе уточненной и начальной моделей команда Velocity in Selection меню планшета выводит диапазоны и среднее значение уточненной или начальной скорости в выделенной области. Если выводится карта относительных поправок, то эта команда меняет имя на Difference in Selection и выводит диапазоны изменения и средние значения абсолютной и относительный поправок.

Карту относительных поправок можно экспортировать в графический файл командой File | Export Difference Map. Для этого действуем, как в Model Editor.

# 4 Завершение цикла

Решение обратной задачи томографии является последним шагом цикла в процессе кинематической интерпретации, но не является точкой выхода из него. Полученное решение требуется оценить. Процент падения целевой функции, о котором сообщает модуль IPS при завершении, имеет технический характер. Это свидетельство успешного решения математической задачи. Тем более, что целевая функция регуляризованной задачи отличается от нормы невязок. Объективной мерой найденного приближения могут служить только статистики невязок времен, полученных в результате *решения прямой задачи для уточненной модели*.

После решения обратной задачи томографии следует начать новый цикл интерпретации, выполнив следующие действия:

- 1. В Дереве обработки Менеджера проектов выделить i-узел с полученным решением и выполнить операцию копирования узла командой *Processing Tree/Copy Node*. В результате выполнения команды будет создан новый корневой узел Model с уточненной скоростью.
- 2. В Дереве выделить о-узел, который является предком i-узла и скопировать его как дочерний в новый корневой узел (команды *Copy Node, Paste O-Node*).
- 3. На вновь созданном о-узле выполнить решение прямой задачи для такого же задания, что и при решении прямой задаче в предыдущем цикле.
- 4. Изучить решение прямой задачи, в частности, статистики невязок времен и сопоставить их со статистиками на предыдущем цикле.
- 5. По результатам действия 4 принять решение о продолжении или завершении процесса.

# Обращение годографов

### 1 Обзор

Глава посвящена обращению систем годографов ныряющей, отраженной и головной волн при профильных наблюдениях. Каждая задача позволяет восстановить элементы модели среды. Задача обращения годографов ныряющей волны имеет результатом приближение к скоростному разрезу. Решение обратной задачи для отраженной и головной волн дает уравнения отражающего и преломляющего горизонтов. Разумеется, возможность решения обусловлена определенными предположениями. Строгая постановка обратных задач приведена в соответствующих разделах главы.

В разделе <u>Определение начальной скорости</u> ставится обратная задача для годографов ныряющей волны и описывается пользовательский интерфейс модуля, который реализует отбор подходящих для обращения годографов и, собственно, решение задачи. Полученный скоростной разрез можно использовать в задаче томографии как начальный.

В разделе <u>Построение горизонтов</u> ставятся обратные задачи для годографов отраженной и преломленной волн, обсуждается подход к решению и некоторые моменты реализации. Следующий раздел <u>Отбор</u> <u>годографов</u> описывает модуль, позволяющий пользователю отобрать оптимальный набор годографов для обращения.

В разделах <u>Построение рефлектора</u> и <u>Построение рефрактора</u> описан пользовательский интерфейс модулей, реализующих решение обратных задач. Следующий раздел <u>Примеры</u> является комментарием к проектам-примерам, поставляемым вместе с продуктом.

# 2 Оределение начальной скорости

<u>Схема – Комментарий – Модуль DWI – Выбор годографовю Автовыбор</u> – <u>Интервал скоростей</u> – <u>Управление</u> <u>программой – Использование результатов. Экспорт</u>

Построение скоростного разреза – задача сейсмической томографии, и первый шаг в этой задаче – выбор начального приближения. Если выбор сделан удачно, решение будет получено быстро, иначе число шагов, необходимых для получения решения, будет велико, или процесс может вообще пойти не в том направлении. При профильных наблюдениях система годографов ныряющей волны позволяет быстро получить хорошее начальное приближение. Оно является композицией решений одномерных обратных задач для годографов системы. Полученное приближение тем лучше, чем меньше влияние на кинематику волн оказывают инверсные слои.

#### Схема

<u>Задача 1</u>. Пусть ось ОХ совпадает с линией наблюдения. Обозначим через  $M_1$  класс одномерных скоростных моделей V(z) с монотонно убывающими функциями V (убывание по z равносильно возрастанию с глубиной). Пусть  $T_v = T_v(z)$  – решение прямой задачи для модели V из  $M_1$ . Для наблюденного годографа T =  $T_{obs}(x)$  ныряющей волны рассмотрим следующую обратную задачу: найти модель  $V_0$  из класса  $M_1$ , минимизирующую среднеквадратическое отклонение  $T_{obs}$  от  $T_v$ . В терминологии XTomo-LM решение Задачи 1 является <u>скоростной колонкой</u> (СК). Допустим пока, что задача 1 однозначно разрешима.

Перед тем, как перейти к двумерному случаю, пополним терминологию. Пусть годограф порождается источником S на линии наблюдения. Через x_s обозначим абсциссу S, а через x_{mo} – абсциссу точки годографа с максимальным удалением. Интервал [x_s, x_{mo}] (или [x_{mo}, x_s] для встречного годографа) будем называть интервалом задания годографа, середину интервала – *средней точкой*, а длину интервала – *базой* годографа.

Пусть теперь дана система годографов ныряющей волны {  $T_{obs,k}$ : k = 1,..,n}. Для каждого годографа решим задачу 1 и отнесем полученные скоростные колонки  $V_{0k}(z)$  к средним точкам годографов  $x_k$ . Через  $M_2$ обозначим класс двумерных распределений V(x, z), убывающих по z при каждом фиксированном x. Существует алгоритм, который строит двумерное распределение  $V_0(x, z)$  из класса  $M_2$  такое, что  $V_0(x_k, z) = V_{0k}(z)$ . Это распределение  $V_0$  и принимается за начальное приближение в задаче томографии.

#### Комментарий

Содержимое предыдущего пункта объясняет суть дела, но требует пояснений. Во-первых, задача 1, с математической точки зрения, некорректна, так что гарантировать ее однозначную разрешимость (а, значит, построение алгоритма решения) нельзя. Однако она допускает регуляризацию: класс  $M_1$  надо немного сузить, и тогда все будет в порядке. Именно, для каждой функции из  $M_1$  надо потребовать существования такого  $\varepsilon > 0$ , чтобы при любых  $z_1 > z_2$  было V( $z_1$ ) < V( $z_2$ ) –  $\varepsilon$ . Это требование означает, что V(z) не может приближаться к константе ни на каком интервале изменения z. После такого сужения  $M_1$  задача 1 становится корректной.

Выбор точек x_k мотивируется следующим обстоятельством. В модели **M**₁ рассмотрим рефрагированный луч от источника в точке (0, 0) с точкой выхода на линию наблюдения (x, 0). Точка луча с максимальным значением глубины имеет абсциссу x/2. Поэтому скоростную колонку, полученную путем обращения годографа, естественно ассоциировать с серединой его области определения.

Принципиальное значение имеет постановка и решение задачи 1, в то время как построение V₀ по скоростным колонкам – это техническая задача. Выше предполагалось, что в обращении участвуют все наблюденные годографы. На практике, однако, они имеют сильно различающиеся базы. Понятно, что самая глубокая скоростная колонка отвечает годографу с максимальной базой. Это верно, по крайней мере, для сред с малыми латеральными изменениями скорости. Для таких сред можно вообще ограничится этой одной колонкой. В общем случае можно отслеживать латеральные изменения скорости, составляя подходящую выборку годографов для обращения.

#### Модуль обращения DWI

Модуль Diving Wave TX-curve Inverter (DWI) запускается из меню Дерева обработки, вызванного на оузле, командой TX-curve Inversion/Build Initial Velocity Distribution. Понятно, что Каталог лучей о-узла

Velocity Range: TX-Curve List 20 curves V_{max} 7.000 V_{min} 1.500 ٠ SID 1 Direction Midpoint Half-base Parameters Project velocity range: 1.500 to 7.000 ✓ 1 Direct 15.00000 15.00000 Invert 2 Direct 25.00000 15.00000 Auto-sampling: 2 Reversed 5.000000 5.000000 Allowed TX-curve base drop in Log ✓ 3 % relelative to maximal base 25 -Direct 35.00000 15.00000 Ξ 3 Reversed 10.00000 10.00000 Allowed TX-curve overlap in Reset -25 % relative to curve halfbase 4 Direct 45.00000 15.00000 4 Reversed 15.00000 15.00000 Export 🔻 OK ✓ 5 Defaults Cancel Direct 55.00000 15.00000 b а

должен содержать систему годографов ныряющей волны. Главное окно модуля (рис. 1a) выводит список годографов системы.

Рис. 1. Главное окно модуля DWI. а – список годографов; b – диалог регулировки параметров.

Колонки списка: *SID* – ID источника, *Direction* – направление годографа, *Midpoint* – средняя точка годографа, *Half-base* – половина базы годографа. Список можно отсортировать по ключам, соответствующим заголовкам колонок, Для этого надо щелкнуть по нужному заголовку. В начале строки списка помещен флажок, указывающий на включение годографа в выборку для обращения.

### Выбор годографов. Автовыбор

Пользователь может сам выбирать годографы для обращения щелчком мыши по флажкам. При этом можно смотреть на изображение системы годографов в модуле TX-curve Viewer и использовать возможность скрывать/показывать годографы на планшете по своему усмотрению. Но можно поручить отбор годографов программе. Она использует процедуру, называемую *автовыбором (auto-select)*. Автовыбор приводит к выборке годографов с наибольшими базами и ограниченной величиной перекрытий. Пользователь может управлять автовыбором с помощью двух параметров. Первый параметр – допустимое уменьшение базы годографа по отношению к максимальной (в процентах); второй максимально допустимое перекрытие соседних годографов в процентах к половине базы. "Соседний" означает "соседний при упорядочении списка по средним точкам". Параметры автовыбора выбираются в диалоге *Parameters*, который вызывается одноименной кнопкой главного окна (рис. 1b).

#### Интервал скоростей

К числу параметров модуля относится также диапазон скоростей. Это априорная информация о разрезе. Его надо назначать, исходя из физико-геологических соображений. В ходе обращения модуль будет сигнализировать о выходе значения скорости за указанные пределы. Интервал скоростей устанавливается в диалоге *Parameters*. По умолчанию, границы интервала совпадают с указанными в свойствах проекта.

#### Управление программой

Рабочий сеанс программы состоит из трех шагов: (1) составление выборки годографов; (2) обращение; (3) анализ результатов. После составления выборки процедура обращения запускается кнопкой *Invert*. После завершения обращения доступен протокол выполнения, и можно просмотреть построенные колонки в числовом и графическом виде. При этом список годографов и параметры остаются недоступными для изменений, пока не нажата кнопка *Reset*. Она позволяет начать новый сеанс. У годографов, которые не удалось обратить, цвет галочки меняется на серый. Подробнее см. в таблице 1.

110

Команда	Действие
	Контекстное меню списка годографов
Check All	Включает в выборку все годографы.
Uncheck All	Исключает все годографы из выборки.
Auto-sampling	Запускает процедуру автовыбора.
Show VC Plot	Выводит плавающее окно с графиком V(z) для CK, полученной для выделенного в списке годографа. Доступна, если флажок у годографа поднят и его обращение завершилось успешно. Заголовок окна содержит ID годографа и среднюю точку. Окно не блокирует доступ к главному окну, поэтому можно выводить несколько графиков и сравнивать их (рис. 2а).
Show All from Here	Выполняет предыдущую операцию для всех годографов, начиная с выделенного.
Sort Plots by X	Упорядочивает выведенные графики по X, т.е. по возрастанию средних точек годографов.
Close All Plots	Закрывает все окна с графиками.
Show VC as Table	Выводит скоростную колонку, отвечающую выделенному годографу, в виде числовой таблицы в диалоге, показанном на (рис 2b). Доступна, если флажок у годографа поднят и его обращение завершилось успешно. На самом деле, диалог может показывать все колонки, а не только текущую. В нем есть два инструмента навигации: выпадающий список для выбора годографа (и колонки) над таблицей и кнопки навигации под ней.
	Кнопки главного окна
Parameters	Вызывает диалог для регулировки параметров программы: диапазона скоростей и параметров автовыбора (рис. 1b).
Invert	Запускает процедуру обращения. Если выборка содержит более одного годографа, операция выполняется параллельно для числа годографов, равного числу логических процессоров системы.
Log	Выводит протокол выполнения, содержащий записи о решении задачи 1 для каждого годографа. Записи не обязательно упорядочены. При необходимости сохранить протокол вызовите контекстное меню протокола и выберите в нем команду Save As.
Reset	После выполнения сеанса обращения изменение состояния программы блокировано. Кнопка используется для снятия блокировки. Программа переходит в состояние, предшествующее сеансу. Теперь можно изменить выборку годографов или параметры и повторить сеанс.
Export	Модуль экспортирует построенные скоростные колонки в файлы форматов VC (для XTomo-LM) или DAT (для внешних приложений). Щелчок по кнопке выбрасывает меню выбора формата. Экспорт в VC-файл имеет важные особенности (см. <u>ниже</u> ).

Таблица 1. Команды управления модулем обращения.



Рис. 2. Вывод скоростных колонок. а) окна с графиками; b) диалог, реализующий вывод в виде числовых таблиц.

#### Использование результатов. Экспорт

Построенные скоростные колонки можно использовать для создания <u>стартовой модели</u> нового проекта, либо для <u>замены скорости</u> в новом m-узле текущего проекта. В обоих случаях колонки встраиваются в существующую решетку посредством стандартной процедуры, кратко описанной <u>здесь</u>. При этом возникают две трудности, которые обсуждаются ниже.

- При импорте VC-файла пользователь должен выбрать, как трактовать скоростные колонки: как ступенчатые или как кусочно-линейные непрерывные функции. В нашем случае ответ очевиден: при импорте построенные колонки интерпретируются как кусочно-линейные непрерывные функции (дополнительно см. <u>здесь</u>).
- Если глубина колонки меньше, чем глубина основания прямоугольника модели, то упомянутая выше процедура продолжает колонку по глубине, считая скорость в последнем слое постоянной. Проблема в том это действие выводит колонки из класса M₁, а скоростную функцию, описываемую набором колонок, – из класса M₂. Эта трудность преодолевается специальной организацией экспорта колонок в VC-файл.

Допустим, что построены N скоростных колонок. К-я колонка является упорядоченным множеством пар  $\{(Z_{ki}, V_{ki}), i = 1, ..., m_k\}$ . Пусть  $Z_{min} = \min Z_{ki}, V_{max} = \max V_{ki}$  по всем  $k = 1, ..., N, i = 1, m_k$ . Перед выводом колонки в файл программа добавляет к ней "замыкающую" пару (Z*, V*), удовлетворяющую условиям Z* <  $Z_{min}$ , V* >  $V_{max}$ . Одна и та же пара добавляется ко всем колонкам. Это действие продолжает СК на общий для всех них интервал [Z*, 0], сохраняя рост скорости с глубиной. Конкретный выбор Z* и V* делает пользователь, но с учетом того, что Z* должно быть меньше нижней границы прямоугольника целевой модели.

Технически, для выполнения VC-экспорта щелкните по кнопке *Export*, затем выберите команду *To VC file* в выпавшем меню и выберите имя и расположение VC-файла в файловом диалоге. После этого программа выводит диалог *Export Parameters*, в котором показаны значения Z_{min} и V_{max} и имеются поля для ввода Z* и V*.

### **3** Построение горизонтов

Отраженная и головная волны несут разную информацию о среде. Отраженная волна является локальным сканером сейсмической границы (при небольших удалениях). Напротив, головная волна несет информацию о границе на больших и очень больших удалениях.

В рамках моделей, используемых в XTomo-LM, при определенных ограничениях, обе задачи формулируются и решаются в рамках одного аппарата — продолжения годографов вглубь среды (миграция) в рамках лучевого приближения.

Процедуры решения задач обращения скрыты от пользователя. В пользовательском интерфейсе и протоколах решения фигурирует только понятие *эйконала*. Эйконал – это функция T_R(x, z), значение которой равно времени пробега волны от точки R до переменной точки (x, z). Точка R в этом определении играет роль параметра. Продолжение годографа и расчет эйконалов для каждого приемника R – тесно связанные задачи.

#### Задача для отраженной волны

Для отраженной волны задача ставится так: на линии наблюдения задан годограф отраженной волны и положение источника, известно распределение скорости над отражателем. Требуется определить фрагмент отражателя. Для решения задачи рассматривается два синхронизированных процесса: распространение прямой волны от источника и миграция годографа. Сопоставляя кинематику обоих процессов, можно определить положение и конфигурацию отражателя. Обобщение этой задачи состоит в использовании большого числа источников и системы годографов с целью осветить весь рефлектор под линией профиля. На практике имеет место именно эта ситуация.

Наличие перекрытий годографов в кинематическом анализе (в отличие от миграции сейсмических записей) не является принципиальным. Оно только предоставляет возможность выбора лучшего варианта. Во всяком случае, в используемых алгоритмах дело обстоит именно так. Более того, пользователю предоставляется специальный инструмент – модуль TX-Curve Selector – для отбора из совокупности годографов в Каталоге лучей таких годографов и определения таких удалений, которые дадут оптимальный результат.

#### Задача для головной волны

Рассматривается "классическая" постановка задачи. Дана пара встречных годографов T(R) и T*(R) от источников S и S*. Здесь R — приемник, звездочка относится к встречному годографу. Известно распределение скорости над преломляющим горизонтом (рефрактором). Требуется определить фрагмент рефрактора, "освещаемый" обоими годографами. Такая постановка задачи связана с известным соотношением (рис. 1), благодаря которому задача оказывается разрешимой.



Рис. 1. Лучевая схема, поясняющая понятие взаимных точек. Принимая, что волна скользит по границе, для любой ее точки Н имеем следующее соотношение между временами пробега:

 $T_{HR*} + T_{HR} = T(R) + T^{*}(R^{*}) - T(S^{*}),$ 

где в левой части стоит сумма времен по лучам HR и HR*, которые выходят из точки H под критическим углом. В силу принципа взаимности T(S*) = T*(S) это значение называется взаимным временем (reciprocal time) пары встречных годографов. Приемники R и R* называются взаимными (reciprocal) или сопряженными, а расстояние между ними — базой сопряжения (reciprocal points base).

Лучевая схема на рис. 1 показывает, что задача построения рефрактора эквивалентна задаче нахождения для каждого преемника R базы сопряжения (а, значит, сопряженного приемника на встречном годографе). Именно решение этой задачи реализует алгоритм в модуле построения рефрактора. Для оценки базы сопряжения модуль использует видимые начальные точки годографов. Ведь истинная начальная точка является сопряженной к источнику.

Система годографов головной волны содержит множества нагоняющих прямых и встречных годографов. Из них с помощью модуля TX-Curve Explorer выбирается оптимальный набор годографов.

#### Алгоритмы обращения

114

Алгоритмы обращения систем годографов работают в предположении, что *скорость в области, где* залегает горизонт, постоянна или имеет небольшой горизонтальный градиент. Понятно, что в случае постоянной скорости в покрывающей среде алгоритмы применимы. В случае горизонтальной границы это условие, фактически, не накладывает ограничений и на переменную скорость. Если же горизонт имеет значительное падение или содержит структурные элементы, он занимает заметную по глубине область. В этом случае используется техника криволинейных решеток (см. раздел <u>Примеры</u>), которая делает общий случай очень похожим на случай горизонтальной границы. Таким образом, алгоритмы оказываются применимыми при произвольной (но достаточно регулярной) скорости в покрывающей толще, но дают приближенное решение задачи.

Однако в любом случае требуется верификация результата путем решения прямой задачи. Хотя построение эйконалов и в прямой задаче, и при обращении годографов проводится одними и теми же средствами, проверка не является тавтологией. При построении горизонта используются дополнительные идеи, которые, собственно и делают задачу обращения практически реализуемой и относительно быстрой.

#### Решение, хранение, просмотр

Оба модуля Reflector Builder и Refractor Builder представляют результат в виде двух *итераций* горизонта: начальной и финальной (или нулевой и первой). Для плоской границы начальная и финальная итерации практически совпадают. В случае переменной кривизны горизонта точки начальной итерации смещены в сторону падения границы в данной точке, но общая конфигурация границы выявляется начальным приближением вполне удовлетворительно. Финальная итерация строится по нулевой как ее уточнение. В случае отраженной границы уточнение ликвидирует упомянутое смещение, в случае рефрактора его эффективность низка, и лучше использовать начальную итерацию.

Построение горизонтов происходит на узле Дерева обработки Observations. Все горизонты, построенные в о-узле, складируются в одном хранилище – *базе данных горизонтов*. Это позволяет, в частности, сравнивать различные варианты построения. Горизонт идентифицируется кодом волны, номером варианта (Build) и номером итерации (0 или 1). Все содержимое базы данных горизонтов можно просмотреть с помощью графического модуля Horizon Previewer, который запускается из модулей построения горизонтов.

# 4 Отбор годографов

Подготовка систем годографов к обращению выполняется в модуле TX-Curve Selector. Он запускается на о-узле командой *TX-Curve Inversion*/*Select TX-Curve To Build Horizon*. Модуль поддерживает всю функциональность программы просмотра годографов <u>SRT TX-Curve Viewer</u>. Дополнительные инструменты активизируются при следующих условиях: (1) фильтр по источникам отключен; (2) фильтр по волнам "пропускает" только одну волну – ту самую, которая связана с будущим горизонтом. Пользователь создает для этой волны выборку годографов, оптимальную для построения горизонта. Описание этой выборки сохраняется в файле, имя которого совпадает с кодом волны. Построение горизонта возможно только при наличии соответствующего файла описания в папке о-узла.

#### Отраженная волна

Прежде всего, для задачи обращения годографа отраженной волны прямой и встречный годографы не разделяются. Будем говорить просто о годографе отраженной волны, который может иметь левую и/или правую ветви. Подготовка предусматривает отбор оптимального набора годографов и ограничение удалений. Годографы выборки должны обеспечивать незначительные перекрытия соответствующих фрагментов отражателя при минимально возможных удалениях. При формировании отражателя точки перекрытия ликвидируются по особому алгоритму, в котором точкам с минимальными удалениями всегда отдается предпочтение.

**Фильтр.** В списке волн отфильтруйте все волны, кроме нужной отраженной волны. В контекстном меню плоттера выберите команду *TX-Curve Sample for Inversion*. На экран выводится диалог *TX-Curve Sample for wave* ... (рис. 1). Его центральную часть составляет список или таблица — описание выборки. Колонками таблицы служат порядковый номер, ID источника (ключ упорядочения), х-координата источника и максимальное удаление. Источник однозначно определяет годограф.



Рис.1. Составление выборки годографов для обращения. Звездочка в заголовке колонки указывает ключ упорядочения.

**Выборка.** При первом запуске диалога таблица пуста. Управление осуществляется контекстным меню таблицы. Используя команду Add All (добавить все), заполните таблицу всеми годографами системы. Далее, используя множественное выделение и команду меню *Exclude Selected*, исключите из списка лишние строки.

Изменение состава выборки меняет картинку, которую выводит плоттер: годографы, входящие в выборку, выводятся с обычными атрибутами рисовки; исключенные же выводятся на заднем плане светло серыми, так что пользователь видит, что он выбирает. Команда-переключатель *Sample Display Mode* в меню таблицы обеспечивает или снимает такой режим вывода. Годограф, выделенный в списке, рисуется особым цветом выделения, который тут же в диалоге можно переопределить.

Добавлять годографы в выборку можно и непосредственно с плоттера. Отодвиньте окно выборки в сторону, если надо, захватите часть нужной кривой резиновым контуром и в рк-меню выберите команду Add to Sample.

Удаления (офсеты). Ограничения по удалениям могут задаваться индивидуально для каждого годографа и для любой их группы. Выделите в таблице годографы с одинаковым значением максимального удаления и перейдите в поле *Maximal offset*. Введите нужное удаление и щелкните по кнопке-стрелке. Значение будет присвоено выделенным элементам списка. Значение максимального удаления 0.0 означает, что удаление может быть любым.

**Сохранение**. Кнопка Save диалога сохраняет описание выборки в файле в папке о-узла. При вызове диалога этот файл загружается, если он существует. Чтобы отменить изменения, сделанные в списке после открытия, используйте кнопку *Reload* (загрузить файл) или выйдите из диалога без сохранения. Запуск Reflector Builder возможен только при обнаружении в папке о-узла файла описания выборки годографов отраженной волны.

#### Головная волна

#### Выборка годографов

Выборка годографов головной волны состоит из наборов прямых и встречных нагоняющих годографов. Набор прямых годографов должен удовлетворять следующим условиям:

- 1) годографы набора упорядочены по абсциссам источников; точки годографов упорядочены по х.
- каждый годограф набора, начиная со второго, имеет в перекрытии с предыдущим годографом не менее m точек;
- абсциссы последних точек годографов должны монотонно возрастать (годограф не перекрывается полностью предыдущим).

Для встречных годографов условия 2) и 3) выглядят так:

- каждый годограф набора, кроме последнего, имеет в перекрытии с последующим годографом не менее m точек;
- абсциссы первых точек годографов должны монотонно возрастать (годограф не перекрывается полностью последующим).

Значение т в версиях 3.1 и 3.2 равно 6.

#### Построение

Диалог *TX-Curve Sample* для головной волны показан на рис. 2. Он содержит списки описаний, которые при первом запуске для данной волны пусты.



Рис.2. Выборка годографов головной волны для обращения. Звездочка в заголовке колонки указывает ключ упорядочения.

Выборки прямых и встречных годографов строятся автоматически. Пользователь может только исключить несколько годографов на флангах профиля. Вызовите диалог и отодвиньте его в сторону; на планшете выделите прямой годограф, который будет первым в выборке, если смотреть слева направо. В меню плоттера выберите команду *Set as First Direct curve* (Считать первым прямым годографом). По этой команде строится или перестраивается описание прямых годографов, на первом месте будет выбранный. Теперь выделите на планшете встречный годограф, который будет последним в выборке встречных кривых и выберите аналогичную команду в меню планшета. Будет построено или перестроено описание выборки встречных годографов. Сохраните описания щелчком по кнопке *Save* или откажитесь, просто закрыв

диалог. Копка Save создает файл описания системы годографов головной волны. Изображение выборки на плоттере устроено так же, как в случае отраженной волны.

# 5 Построение рефлектора

После составления выборки годографов для обращения (см. <u>Отбор годографов</u>) командой меню *TX-Curve Inversion*/*Build Reflector* на о-узле запускается модуль Reflector Builder (рис. 1). Сначала опишем формально действия пользователя.

1. Con	tant velocity: V = Vc
🔿 2. V =	V(x, z) above hT; V = Vc in the strip [hT, hB] with horizo
⊘ 3. V =	V(x, z) above hT; it is continued as constant from hT onto strip [hT, hB] along each grid vertica
	hT 1 🔅 hB 200 🗢 Vc
ecution	

Рис. 1. Главное окно модуля Reflector Builder

#### Скорость V' в покрывающей среде

Задание скорости в покрывающей среде – главная забота пользователя. Имеется три опции задания скорости, и они тесно связаны с условиями применимости <u>алгоритма</u> обращения. Ниже V = V(x, z) означает скорость в данной модели; V' = V'(x, z) – скорость, используемая при обращении; [hT, hB] обозначает полосу решетки с верхней h-линией номер hT и нижней h-линией номер hB; hB_{max} – это номер предпоследней линии решетки. Напомним, что номер h-линии совпадает с номером ряда решетки, для которого она является кровлей. Опции выбора скорости таковы:

- Постоянная скорость: V' = V_c в полосе [1, hB], где hB это h-линия, ограничивающая снизу полосу, в которой лежит горизонт. hB и V_c задаются пользователем в полях редактирования. По умолчанию, hB = hB_{max}. Щелчок по ссылке hB устанавливает именно это значение. Задание значения hB, меньшего hB_{max}, сокращает время счета. Средняя скорость в подходящей горизонтальной полосе – хороший кандидат для V_c.
- V' = V в полосе [1, hT] и V' = V_c в полосе [hT, hB]. Здесь hT h-линия, лежащая заведомо выше горизонта, hB ниже. Таким образом, горизонт расположен целиком в полосе [hT, hB]. Значения hT, hB и V_c вводятся пользователем.
- 3. V' = V(x, z) в полосе [1, hT] и продолжена в полосу [hT, hB] как постоянная на каждой вертикали. Продолжение производится программой. V' не является постоянной в [hT, hB], если V(x,z) имеет ненулевой горизонтальный градиент. hT и hB вводятся пользователем.

Информация об h-линиях, лежащих заведомо выше и ниже горизонта надо понимать как априорную информацию. Ее можно получить, например, используя модуль Refractor Evaluator, речь о котором идет в конце этого раздела.

#### Задание

Выбор скорости только одно из действий, которые пользователь должен совершить для запуска сеанса обращения. Вот полный список:

- 1. Выбор волны из выпадающего списка Wave. В нем представлены те отраженные волны, для которых в о-узле обнаружены файлы описания систем годографов.
- 2. Выбор скорости в покрывающей среде. Заполнение полей hT, hB, V, если нужно.
- 3. Изменение выборки годографов для текущего сеанса обращения (если нужно). Щелчок по кнопке Options выбрасывает меню; выберите в нем команду *TX-Curve Set*. На экран будет выведен диалог со списком годографов для обращения, в точности такой же как в модуле <u>TX-Curve Selector</u>. Пользователь может изменить состав выборки и максимальные удаления для текущей сессии обращения.
- 4. Настройка параметров. В меню кнопки Options выберите команду Parameters. Она выводит диалог, показанный на рис. 2. На панели Algorithm следует выбрать значения для двух параметров, влияющих на работу алгоритма и результат обращения. Первый параметр априорная информация о наклоне (slope) горизонта. Сначала всегда следует использовать значение по умолчанию. Значение 20° годится для большинства прикладных задач. Увеличивать это значение надо только тогда, когда полученный результат дает основание полагать, что локальные наклоны кривой искусственно занижены. Выбор большего значения снимает ограничение, но уменьшает устойчивость. Параметр для дифференцирования горизонта практически никогда не нуждается в корректировке. О параметре на панели *Execution* см. ниже.

Horizon slope (gl	bal and	local) i	s 💿	≤ 20°	⊚ ≤	35° (	Any
(This in	formation	n is used	to speed	l up com	putatio	ns)	
Avaragin	g radius	for con	nputing	slope	3	-	
Execution							Defau
Concurrency Inc	ex 8						
The index shows	how ma	any logi	cal proc	essors	concu	rrently s	hare
the task of inver	ing TX-o	curve se	t. The r	easonal	ole ind	ex value	lies
between 1 and r	umper o	r iociga	ii proce	ssors (tr	ne defa	it value	).

Рис. 2. Диалог задания параметров выполнения.

### Выполнение

Сеанс обращения открывается щелчком по кнопке Start. Рефлектор либо строится впервые, либо строится какая-либо новая версия (Build). Модуль сам нумерует версии горизонтов, построенных для данной волны. Номер версии выводится на панели *Execution* главного окна после щелчка по кнопке Start.

Модуль рассматривает обращение одного годографа как элементарную задачу и запускает для ее решения особый модуль. Результатом его работы является фрагмент рефлектора. Элементарная задача

закрепляется за логическим процессором вычислительной системы. Параллельно выполняется столько задач, сколько указано параметром *Concurrency index* в диалоге задания параметров (рис. 2). По умолчанию, он равен числу логических процессоров в системе. При выполнении задания над полосой прогрессора указываются ID источников, годографы которых обрабатываются в данный момент. Полученные при решении элементарных задач фрагменты "сшиваются" в единый горизонт.

#### Просмотр результата и экспорт

Результатами сеанса являются протокол (log), и, в случае успеха, <u>две итерации</u> рефлектора, записанные в <u>базу данных горизонтов</u>. Просмотр протокола и горизонта осуществляется командами меню, которое выбрасывает кнопка *View*. Все протоколы складируются в папке о-узла, так что по команде *View/Logs* выводится их список. Имя протокола начинается со времени создания и завершается кодом волны и версии. Список упорядочен по времени. Он имеет контекстное меню с командами просмотра и удаления. Как всегда, открыть протокол можно двойным щелчком.

Для предварительного просмотра горизонта запускается специальный модуль Horizon Previewer (HPV). Запускается он командой View/Horizon. Это графический модуль, который выводит изображение модели и позволяет поверх него изобразить все горизонты из базы данных горизонтов. На рис. 3 показан фрагмент главного окна HPV.



Рис. 3. Главное окно HPV с окном Менеджера базы данных горизонтов.

Поверх планшета выведено *окно менеджера базы данных горизонтов* (HDB Manager). Если окно Менеджера закрыто, то вызвать его можно командой *View*/*Horizon Database Manager* или кнопкой панели инструментов. Менеджер содержит список горизонтов с контекстным меню. Список допускает множественное выделение, позволяющее работать с группами элементов. Колонки списка содержат описание волны (Wave), версию горизонта (Build) и итерацию (Iteration), а также поле для краткого комментария (40 символов). Строки списка выводятся черным цветом, если соответствующая граница выведена на планшет (на рис .3 – одна кривая) и серым – если нет. Комментарий к выделенной строке редактируется в поле под списком. Изменения переносятся в список кнопкой с галочкой. На рис. 3 комментарий использован для параметров задания. Функциональность Менеджера реализована его контекстным меню (таблица 1).

Команда	Описание
Draw	Плоттер выводит выделенные в списке горизонты. Двойной щелчок по строке выводит или скрывает текущий горизонт.
Hide	Плоттер скрывает выделенные в списке горизонты.
Boundary Velocity	Команда присутствует в меню, если выделенный горизонт – рефрактор. Вызывает диалог с графиком граничной скорости. Планшет, на котором он изображен, имеет контекстное меню, позволяющее сгладить граничную скорость и вывести ее в текстовый файл.
Change Color	Изменить цвет. Позволяет установить цвет для рисовки выделенных в списке кривых.
Heavy Line	Выводит выделенные в списке кривые жирной линией.
Ordinary line	Выводит выделенные в списке кривые обычной линией.
Display Build Log	Выводит протокол построения выделенного горизонта.
Refresh List	Обновляет список, считывая заново базу данных (см. ниже).
Export to MG File	Экспортирует выделенные границы в файл формата <u>MG</u> .
Delete Selected	Удаляет выделенные в списке кривые из базы данных горизонтов.

Таблица 1. Команды Менеджера базы данных горизонтов

Если в одном сеансе Reflector Builder строится несколько версий горизонта, то HPV можно не закрывать. Чтобы увидеть в нем вновь построенную версию, следует в Менеджере базы данных применить команду *Refresh List*. Модуль просмотра можно запускать и непосредственно из меню Дерева обработки на о-узле командой *Preview Built Horizon*. Команда доступна, если в папке о-узла обнаружена база данных горизонтов.

#### Грубая оценка кривой рефлектора

При использовании Reflector Builder, особенно в в сложных ситуациях (см. Примеры далее в этой главе) хорошо иметь грубую оценку положения рефлектора. Ее можно получить с помощью модуля Reflector Evaluator. При известной скорости в покрывающей среде он рассчитывает глубину отражателя в точках постановки источников в предположении, что ближайший к каждому источнику приемник R₀ имеет нулевое удаление, а луч, в него приходящий, вертикален. Модуль запускается на о-узле командой *TX-Curve Inversion* | *Evaluate Reflector*. Главное окно модуля показано на рис. 4.

Reflector	Evaluator				×
Module ev passing thr ray. Here	aluates refle ough source To is TX cun	ctor position 2 e point S by tra ve value at the	Zr on each v avel time To receiver Ro	vertical X = along vert nearest to	Xs ical S.
Wave 🔲 1	-0 ~	Permissible R	o Offset 1.	0	$\checkmark$
SID	Xs	Ro offset	То	Zr	^
▼ 1	5.00	0.00	8.454	-11.14	
▼ 2	15.00	0.00	8.448	-11.13	
▼ 3	25.00	0.00	8.461	-11.15	
▼ 4	35.00	0.00	8.909	-11.97	
▼ 5	45.00	0.00	9.270	-12.63	
▼ 6	55.00	0.00	7.762	-9.93	
7	65.00	0.00	6.713	-8.13	
▼ 8	75.00	0.00	6.718	-8.14	
V 9	85.00	0.00	8.086	-10.49	
V 10	95.00	0.00	9.146	-12.40	
<b>—</b>	405.00	0.00	0.000	40.01	<b>•</b>
Evaluate	Save	Close	😮 Hel	p Abo	ut

Рис. 4. Главное окно модуля Reflector Evaluator.

В списке кодов волн *Wave* следует выбрать код нужной отраженной волны, а в поле справа — допустимое удаление для R₀. После этого щелчок по кнопе с галочкой запускает выбор тех годографов, у которых удаление R₀ не превышает заданного. Результатом выборки является список годографов, в котором заполнены первые 4 колонки: ID источника (SID), его х-координата (Xs), удаление R₀ и значение годографа (T₀) в приемнике R₀. Щелчок по кнопке *Evaluate* запускает расчет, результатом которого является столбец Z_r значений z-координат отражателя в точках постановки источников. Результат может быть сохранен в текстовом файле формата MG (кнопка *Save*).

# 6 Построение рефрактора

Запуск Refractor Builder осуществляется командой меню *TX-Curve Inversion*/Build Refractor на о-узле. Хотя задачи обращения годографов отраженной и головной волн различны, пользовательский интерфейс обоих модулей и действия пользователя почти одинаковы. В частности, опции задания скорости в покрывающей среде выбираются одинаково. Единственное отличие касается использования средней скорости в качестве V_c. Эта рекомендация относится только к отраженным волнам. В главном окне Refractor есть дополнительная панель <u>Reciprocal Points Base</u> (рис. 1).



Рис. 1. Панель для оценки базы сопряжения.

Согласно <u>Введению</u> суть алгоритма обращения — поиск взаимной (сопряженной) точки встречного годографа для каждой точки прямого. Для решения этой задачи важно иметь примерную оценку базы сопряжения. Такую информацию могут нести начальные точки годографов, входящих в выборку для обращения. Начальная точка является сопряженной для источника. Видимая начальная точка годографа на сейсмической записи может лежать гораздо дальше от источника, чем истинная, но все же это важный ориентир. При щелчке по кнопке *Evaluate* (оценить) модуль вычисляет минимальное и максимальное значение базы начальной точки для всех годографов выборки. Если пользователь способен задать их точнее, он может это сделать: поля, в которые выводятся оценки, можно редактировать.

Поиск взаимных точек требует перебора большого числа вариантов, поэтому Refractor Builder заранее вычисляет <u>эйконалы</u> T_R(x, z) для всех задействованных приемников R и делает это, распределяя работу между имеющимися в системе логическими процессорами. При щелчке по кнопке *Start* эта операция выполняется первой и занимает основную часть времени. Важно отметить, что для экономии ресурсов каждый эйконал T_R вычисляется не во всей области модели, а в вертикальной полосе **B**_R вокруг R, ширина которой определяется значением B_{mav}.

Диалог параметров модуля содержит всего два параметра: радиус усреднения для вычисления производной и индекс параллельности. Последний используется только при вычислении эйконалов: именно эта операция распределяется между логическими процессорами.

Характерным является завершение модуля с ошибкой 616. Она означает, что полоса **B**_R оказывается слишком узкой. Такое действительно может случиться, если значение B_{max} занижено, что маловероятно на практике. На всякий случай, можно увеличить B_{max} и запустить обращение еще раз. Повторение ошибки 616 свидетельствует о невозможности построения горизонта при заданных условиях: полоса, в которой лежит горизонт или скорость в покрывающей среде, выбраны неверно.

После завершения сеанса обращения пользователь действует так же, как в Reflector Builder: просмотр протоколов и просмотр построенного горизонта в модуле Horizon Previewer. Преломляющие и отражающие горизонты помещаются в одну и ту же базу данных. Модуль Refractor Builder рассчитывает дополнительно *граничную скорость* — важнейшую характеристику головной волны. Она также сохраняется в базе данных горизонтов, а Менеджер базы имеет специальную <u>команду</u> для ее просмотра и экспорта.

# 7 Примеры

Данный раздел является комментарием к примерам построения горизонтов, поставляемым в виде набора проектов. Цель примеров – продемонстрировать работу с XTomo-LM, в частности, в задачах интерпретации слоистой модели.

#### Установка

Если в программе установки была выбрана опция "XTomo-LM 3.2 + Проекты-примеры", программа создает папку S:\XTLM 3.2 Examples и помещает в нее архивный файл RAR с тем же именем, что и папка. Здесь S: – системный диск, т.е. диск, на котором установлена ОС Windows. В архиве содержаться три общие папки: рабочая (Works), архивная (Archive) и папка импорта-экспорта (Impex). В рабочей папке лежат шесть проектов. Файл следует разархивировать в ту же папку. Затем в Менеджере проектов определите новые общие папки Works, Archive and Impex. После выхода из диалога проекты-примеры появятся в списке проектов. Они готовы к работе, только если S: = C:, т.е. если диск C: является системным. Если это не так, то путь к папке импорта в свойствах проектов окажется неверным. Придется войти в свойства каждого проекта и выбрать папки заново. После этого проекты будут готовы к работе. Архивный файл можно распаковать и в любое другое место, но после этого следует произвести соответствующую настройку папок в Менеджере проектов. Помимо проектов, программа установки добавляет в SRT-порт новый склад XTLM 3.2 Examples с базами данных. Они используются в проектах.

#### Задачи

Проекты-примеры созданы для решения трех задач обращения систем годографов, но наблюденные данные для этих задачи генерируются в трех проектах моделирования. М-проекты называются ExmpN. Modeling TX-curves, где N — номер задачи, имена I-проектов: ExmpN. TX-curve Inversion. Задачи имеют учебный характер и ставятся так:

Задача 1. По заданным системам годографов двух отраженных волн построить границы раздела трехслойной модели среды с известными постоянными пластовыми скоростями.

Задача 2. По заданной системе годографов отраженной волны построить подошву слоя с заданной пластовой скоростью V(x, z).

Задача 3. По заданной системе прямых и встречных годографов головной волны построить подошву слоя с пластовой скоростью V(x, z).

Проекты включают все шаги на пути решения трех задач. Пользователь может повторить все действия сам, создавая "параллельные" узлы и повторяя все операции, описанные ниже в этом разделе и комментариях к узлам Дерева обработки.

#### Задача 1

В узле M1 проекта Exmp1. Modeling TX-curves представлена модель для генерации наблюденных данных. Она заимствована из литературного источника. Значения пластовых скорости указаны в комментарии к этому узлу. В списке горизонтов указаны их ID: 2 и 3. Им соответствуют две отраженные волны 2-0 и 3-0 в списке волн проекта. Система наблюдений в узле M1/O1 создана в графическом модуле Spread Editor. Эта система наблюдений используется во всех примерах, поэтому она скопирована на склад XTLM 3.2 Examples SRT-порта как база данных exmp1_spread. Далее, на этом узле запускается Forward Problem Solver, в задании которого исключена ныряющая волны, так что трассировка лучей выполнена для волн 2-0 и 3-0. Результаты моделирования можно просмотреть в модуле Forward Problem Viewer на узле M1/O1/F1. В каталоге лучей этого узла записаны годографы. Чтобы сделать их "наблюденными данными", использована команда меню Дерева обработки *Copy Ray Catalog to SRT Port*. В модуле копирования, который она запускает, выбран склад XTLM 3.2 Examples и имя целевой базы данных – exmp1_tx-curves. Тип базы данных указан как SRT, флаг профильных данных поднят. Результат работы модуля можно увидеть, запустив SRT Port Manager.

Переходим к задаче обращения в проекте Exmp1. TX-curve Inversion. Стартовая модель в узле M1 основана на ортогональной решетке с увеличенным вдвое по сравнению с проектом моделирования числом рядов. Скорость известна: ее значения приписаны трем интервалам глубины, но можно было начать с любой скорости, как увидим ниже. Создан дочерний о-узел M1/O1 и в в него помещены все наблюдения из базы данных exmp1_tx-curves (команда *Extract Data from SRT Port*). Конечно, при формировании системы годографов для обращения (команда *Select TX-curves...*) огромные перекрытия годографов исключены. Сейчас строится первый горизонт, поэтому установлен фильтр, пропускающий только волну 2-0; в выборку годографов включены наблюдения всех годографов с удалениями не больше 20. Описание выборки сохранено. В модуле Reflector Builder задание составлено так: волна 2-0, опция выбор скорости - первая, т.е. скорость в покрывающей среде постоянна,  $V_c = 3$ . Просмотр результата (*View/Horizon...*) происходит в модуле Horizon Previewer. Обратите внимание на разницу между нулевой и первой итерациями. Выбираем итерацию 1 и экспортируем ее в файл exmp1_h1.mg для внедрения в модель. Создана копия M2 узла M1. В Model Editor реализован импорт построенной кривой через H-Line Editor. Кривая встроена в решетку как h-линия 67 и сразу преобразована в горизонт, отвечающий волне 2-0. Выделен первый слой и скорость в нем положена равной 3. Первый шаг закончен.

Для построения второго горизонта создан узел M2/O1 как копия M1/O1. В модуле TX-curve Selector фильтр установлен на волну 3-0, выборка составлена из наблюдений всех годографов с удалениями не больше 30. В Reflector Builder выбраны: волна 3-0, опция скорости 2, hT = 67. Таким образом, выше линии 67 скорость совпадает со скоростью в модели (т.е. равна ), а ниже нее равна 4.5. После обращения в модуле Horizon Previewer итерацию 1 экспортируем в файл exmp1_h2.mg, который затем встраивается в модель в узле M3 (копии M2). Присваивая нужные пластовые скорости слоям 2 и 3, получаем решение задачи 1.

Чтобы сопоставить полученный результат с исходной моделью, можно использовать утилиту Velocity Comparator, которая в данном случае будет показывать расхождение положений горизонтов. Выделите узел M3, запустите утилиту и в качестве второго m-узла выберите Model 1 из проекта Exmp1. Modeling TXcurves. Выберите подходящую частоту решетки, скажем, M = 200, N = 300 и рассмотрите карту разности скоростей. Поскольку пластовые скорости в обеих моделях совпадают, карта покажет в цвете расхождение границ слоев на решетке сравнения.

#### Задача 2

Цель этого примера – показать, как работать в ситуации, когда скорость меняется вплоть до границы. Здесь описываем действия, отличающиеся от Задачи 1. Сначала моделируются наблюдения. В узле М1 проекта Exmp2. Modeling TX-curves определена скорость с постоянным вертикальным градиентом, которую будем использовать в качестве скорости в покрывающей среде. В узле M2 сформирована двухслойная модель среды с переменными пластовыми скоростями. В качестве границы раздела использован первый горизонт из Задачи 1, который был сохранен в файле exmp1_h1.mg. Кривая импортирована из файла и преобразована в горизонт. Мы знаем, что изменение геометрии меняет зависимость скорости от глубины (подробнее здесь), поэтому в диалоге *Replacing Velocity* (команда редактора модели *Edit*/*Replace Velocity with*/*Velocity from M-node*) выбираем узел М1 в качестве источника и выполняем операцию. Скачок скорости на границе раздела обеспечен так: в ряду решетки под границей скорость увеличена на 5%, а затем выполнена интерполяция скорости между этим рядом и последним рядом решетки.

Использована та же система наблюдений, что и в задаче 1, для чего создан пустой узел M1/O1, а затем данные извлечены из базы данных exmp1_spread. Прямая задача решена для волны 1-0 (ныряющая волна исключена из задания). Каталог лучей из f-узла скопирован в SRT Port с теми же установками как в Задаче 1. Имя целевой базы данных – exmp2_tx-curves.

Обратная задача. При создании проекта Exmp2. TX-curve Inversion в качестве стартовой модели выбрана модель М1 проекта моделирования (это известная нам скорость в покрывающей среде). Наблюдения в узел М1/О1 извлечены из базы SRT данных exmp2_tx-curves, созданной в М-проекте. Выборка данных для обращения включает наблюдения всех годографов с удалениями не больше 20. Воспользуемся модулем Refractor Evaluator для оценки полосы, в которой лежит горизонт. Модуль дает для z-координат точек отражателя интервал [-24, -8]. Поэтому считаем, что граница лежит в интервале номеров h-линий [20, 70]. В модуле Reflector Builder выбрана опция 3 для скорости, hT = 20, hB = 70. Значит, скорость до линии 20 будет возрастать, как в модели, а ниже нее будет постоянна. Условие применимости алгоритма выполнено. Результат построения, представленный в Horizon Previewer, ожидаемо показывает горизонт несколько сплющенным и поддернутым кверху. Это следствие подмены скорости на значительном интервале глубины. Тем не менее, кривая будет встроена в модель для построения следующего приближения. Итервация 1 горизонта сохранена в файле exmp2 1.mg.

В Редакторе модели на узле M2 (копии M1) построенная кривая импортирована через H-line Editor. При этом для исключения небольших пульсаций кривая сглажена скользящим средним со параметром 2. Встроенная кривая стала h-линией 28 (выделите ее, чтобы увидеть). Кривая изменила геометрию решетки, а в этом и состоит цель первого шага. Теперь h-линии станут почти параллельны горизонту и область замораживания скорости резко сократиться. Последняя операция — восстановление скорости путем

замены (*Edit*/*Replace Velocity*) из M1. На этом закончен первый шаг, который можно назвать "настройкой решетки".

Теперь мы повторим первый шаг с новой ("родной") решеткой. Узел M2/O1 создается как копия M1/O1, в Reflector Builder выбираем опцию 3 и hT = 27, экспортируем итерацию 1 горизонта в файл exmp2_2.mg. Создаем узел M3 копированием M2, импортируем кривую, преобразуем новую h-линию с номером 30 в горизонт и восстанавливаем скорость из M1 как и выше. Построение рефлектора завершено. Скорость в покрывающей среде изменена в достаточно узкой полосе.

Чтобы оценить отличие результата от исходной границы, следует исключить различия в скорости ниже горизонта. Чтобы сделать это, как в Задаче 1, создадим узел М4 как копию М3 и сделаем скорость в слоях постоянной (3 и 4.5, цифры не важны). Такой же узел (M3) сделан и в проекте моделирования. Теперь сравнение скорости в этих двух узлах утилитой Velocity Comparator дает желаемый результат.

#### Задача З

126

Подход к решению этой задачи точно такой же, как к решению задачи 2, только наблюдения относятся к головной волне. Только моменты, относящиеся к специфике головной волны, комментируются в этом пункте. Прежде всего, сама физическая модель распространения головных волн разумна только для границ малой кривизны. Этим предположением объясняется и форма границы в исходной модели M2 проекта Exmp3. Modeling TX-curves (узел M1 содержит, как и в задаче 2, скоростную модель для покрывающей среды). Кривая получена редактированием одной из h-линий ортогональной решетки стартовой модели.

Моделирование наблюдений головной волны несколько сложнее, из-за того что множество лучей в решении прямой задачи содержит также лучи докритических отражений (см. лучевую картину в Forward Problem Viewer на узле M2/O1/F1). Времена пробега по таким лучам не должны участвовать в годографах. Для их создания понадобится более тонкий инструмент, чем копирование всего Каталога лучей в SRT-порт. Изучение лучевой картины показывает, что на удалениях порядка 35 отражения, в основном, отсекаются. В FPV построим выборку лучей к приемникам с удалениями не менее 35 и экспортируем годографы, отвечающие этой выборке, в SRT-файл exmp3_tx-curves (*Export*/*ASCII Export*/*Observation data* с опцией *Last Ray Sample*). В SRT Port Manager импортируем этот файл на склад XTLM 3.2 Examples. Полученная база данных и служит хранилищем наблюдений головной волны.

Обратная задача. Проект Exmp3. TX-curve Inversion создан со стартовой моделью из узла М1 проекта моделирования. В узел M1/O2 извлекаются данные из базы данных exmp3 tx-curves SRT-порта. В модуле TX-curve Selector составлены системы прямых (начиная с первого) и встречных (кончая последним) годографов. Грубая оценка глубины залегания горизонта может быть сделана по начальным точкам годографов, в которые приходит критическое отражение. Эти оценки дают основание считать, что рефрактор лежит ниже h-линии 28. В Refractor Builder для скорости в покрывающей среде выбрана опция 3 с hT = 28, hB = 70. В случае головной волны мы рассматриваем только итерацию 0, как было рекомендовано. Обратите внимание в Horizon Previewer, что построенный горизонт сильно не дотягивает до левого и правого краев модели из-за большого сейсмического сноса, отвечающего критическому углу. При импорте кривой в модель (узел M2) через H-line Editor кривая, по умолчанию, продолжается до границ модели по горизонтали. Чтобы избежать нежелательных эффектов, кривая отредактирована: продолжение по горизонтали заменено на продолжение "по касательной", и в таком виде кривая встроена в решетку как h-линия 36. На втором шаге (узел M2/O1) для наглядности выполнено несколько вариантов построения рефрактора с hT = 30, 32, 34. Мы осторожно уменьшаем полосу искажения скорости, приближаясь к линии 36; при этом горизонт, как видим в Horizon Previewer, смещается вниз, хотя и незначительно. За решение принимаем вариант с hT = 34. Эта кривая импортирована в модель в узле МЗ как h-линия 38 (после редактирования флангов) и преобразована в горизонт. На каждом шаге после импорта кривой восстановлена скорость. Узел М4 создан для сравнения с исходным горизонтом с помощью такого же приема, как в Задаче 2.

Рефрактор строится вместе с оценкой граничной граничной скорости  $V_b = V_b(x)$ . Выделите узел M2/O1, запустите Refractor Builder, а затем – Horizon Previewer. В меню списка горизонтов выберите итерацию О последнего варианта, вызовите контекстное меню и выберите команду *Boundary Velocity*. Она выводит диалог с графиком  $V_b$ . Обычно она получается осциллирующей. Сгладим ее, применяя дважды команду контекстного меню *Smooth*. На левом фланге сохраняется сильный выброс. Заметьте, что левый край горизонта тоже выглядит слегка надломленным. Обе нерегулярности связаны с "краевым эффектом": процесс поиска взаимных точек идет справа налево и "упирается" в начало встречного годографа, сужая область поиска. Начиная с X = 23, значения  $V_b$  остаются в интервале [4.53, 5.00]. Эти цифры взяты из файла exmp3_velbnd.bln, в который граничная скорость экспортирована командой контекстного меню. Оставив график на экране, выберите в списке проектов Менеджера проектов Exmp3. Modeling TX-curves, в контекстном меню – команду *View Model*, в списке т-узлов – Model 2. Исходная модель выводится в Model Viewer. Выделите ряд решетки, для которого горизонт является кровлей, и выведите горизонтальный профиль скорости командой меню View. Сравните его с графиком  $V_b$  на общей области определения за вычетом носителя флуктуации на левом фланге. Кривые не должны значительно отличаться друг от друга.

128

# Утилиты

### 1 Сравнение скоростей

Утилита Velocity Comparator сравнивает распределения скорости в двух m-узлах Дерева обработки одного или разных проектов XTomo-LM. Сравнение скоростей в одном проекте позволяет отслеживать изменение в ходе интерпретации. Сравнения скоростей из разных проектов важно, например, когда для решения одной и той же задачи используются альтернативные подходы, или создаются проекты обоих типов: обращения и моделирования. Утилита дает возможность оценить различие скоростей визуально и количественно.

#### Постановка задачи

Говоря о сравнении скоростей, следует учитывать, что скорости в разных m-узлах задаются, вообще говоря, на разных решетках. Решетки могут быть заданы для разных областей, иметь разные вертикали и h-линии, в том числе, верхние границы модели. Задача о сравнении скоростей ставиться следующим образом.

Пусть скорости V₁(x, z) и V₂(x, z) заданы в узлах решеток занимающих области D₁ и D₂ плоскости (x z). Каждая из областей является прямоугольником, у которого верхнее основание может быть заменено простой кривой. Обозначим через R₁ и R₂ диапазоны изменения V₁(x z) и V₂(x z). Задача о сравнении считается корректной, если область D = D₁  $\cap$  D₂ не пуста и, более того, имеет значимые размеры при сравнении с D₁ и D₂. Если это условие выполнено, то скорости V₁ и V₂ сравниваются в точках прямоугольной решетки G, определенной на прямоугольнике, вписанном в область D. Частота линий решетки задается пользователем. Утилита рассчитывает абсолютную  $\Delta$ V и относительную  $\delta$ V разности скоростей как функции ячейки решетки G:

 $\Delta V(c) = V_2(c) - V_1(c), \quad \delta V(c) = 100\% \bullet \Delta V(c) / max(V_1(c), V_2(c)), \quad c \in G,$ 

причем обе разности можно изучать в виде карт. Кроме того, пользователь может визуально сопоставлять вертикальные профили обеих скоростей на одном графике.

#### Выбор скоростей и расчет

Утилита Velocity Comparator запускается из меню *Tools* Менеджера проектов. Главное окно программы показано на рис. 1. Выбор m-узлов происходит на верхней панели окна.

xr Velocity Comparator	-		×
V1 V2 V2 The utility allows comparing velocities i any two projects. Results can be viewed maps and vertical profile graphs.	n any two I visually	o m-nod as differ	les of ence
Model 1 Folder(V1)			
C:\XTLM3_Works\Arctic-HBH\Model 1			
$0 \le X \le 600; -40 \le Z \le 0; 2 \le V$	≤ 6		
Model 2 Folder (V2)			
C:\XTLM3_Works\Barentz Sea G4 2008\Model 2			
-1 ≤ X ≤ 101; -20 ≤ Z ≤ 0; 1.9 ≤ V	≤ 6.5		
Compare Grid			
V1 and V2 can be compared in	the doma	ain	
0 ≤ X ≤ 101; -20 ≤ Z ≤ 0			
at nodes of orthogonal grid with M horizon	ntals and	N vertic	als
M 40 🗼 N 30	•		
Check D Compare Q View	2 Help		
Difference M	1aps		
V ↓ Vertical Prof	files		

Рис. 1. Главное окно утилиты. Снимок сделан после выбора т-узлов и проверки условия сравнения скоростей.

Кнопки *Browse* справа от полей *Model Folder* вызывают браузер локальных папок, в котором маркер стоит на текущей рабочей папке. В браузере следует войти в рабочую папку, затем — в папку нужного проекта и выбрать нужный узел Model. В поле появляется путь к m-yзлу, а под ним — прямоугольник модели и диапазон изменения скорости. Если перед запуском утилиты был открыт проект и в Дереве обработки был выделен m-yзeл, то после запуска, по умолчанию, он становится первым операндом сравнения. После выбора следует щелкнуть по кнопке *Check* для проверки условия сравнения и, если оно выполнено, задать числа горизонталей и вертикалей решетки сравнения G. Щелчок по кнопке *Compare* запускает вычисления карт и профилей. Для просмотра результатов служит кнопка *View*, которое выбрасывает меню для выбора опции: карта или графики профилей.

#### Карты разностей

Карты выводятся графическим модулем, который показывает на планшете значения ∆V(с) или _δV(с), пользуясь цветовым эквивалентом числовых значений (рис. 2а). Модуль обладает стандартными свойствами графических модулей: поддерживает лупу, селектор, текстовый и графический экспорт. Дополнительная кнопка на инструментальной панели показана на рис. 2а. Щелчок по иконе кнопки выводит диалог настройки активной карты (рис. 2b), щелчок по стрелке выбрасывает меню, которое служит переключателем между картами.

130



Рис. 2. Карта ∆V. а) вид карты; b) диалог настройки карты.

В диалоге настройки можно подбирать допуск нуля (Tolerance of Zero, ToZ) и цветовые параметры карты. Допуск нуля является порогом для абсолютной величины ΔV или δV ниже которого она считается нулем при изображении на карте. С помощью ToZ карта приспосабливается к требуемой точности совпадения скоростей.

Цветовые параметры включают три базовых цвета. Если M = max $|\Delta V(c)|$ , где максимум берется по всем ячейкам решетки, то первый цвет C₋₁ закрепляется за ячейками, в которых  $\Delta V = -M$ , второй C₀ – за ячейками с  $\Delta V = 0$  с учетом допуска, третий C₁ – за ячейками с  $\Delta V = M$ . Цвет в произвольной ячейке определяется интерполяцией между C₋₁ и C₀ или между C₀ и C₁ в зависимости от знака  $\Delta V$ . Интерполяцией можно управлять с помощью параметров Gamma+ и Gamma-. Изменение Gamma смещает цвет в сторону одной из базовых цветов. При необходимости каждая карта настраивается по-своему. Настройки сохраняются между сеансами работы модуля.



#### Вертикальные профили скоростей

Команда Vertical Profiles меню View выводит окно для сравнения вертикальных профилей скоростей, показанное на рисунке слева. На планшете изображаются графики функций

$$v_1(Z) = V_1(X, Z), v_2(Z) = V_2(X, Z)$$

при фиксированном значении координаты Х. Изменение координаты Х моделируется перетаскиванием ползунка вдоль полосы, показанной на нижней панели окна. Координаты точки плоскости (Z, V), отвечающей положению курсора, выводятся под планшетом.

Команды контекстного меню планшета позволяют:

- переключать способ вывода профиля (кусочно-линейная или ступенчатая функция);
- выводить координаты Z и V в окне подсказки под курсором;
- оценивать отличие кривых посредством расчета числовых характеристик разности v2(z) – v1(z) для каждого X.

# 2 Геометрия модели

<u>Решетка</u> — <u>Создание каркаса</u> — <u>Добавление кривой</u> — <u>Текущая кривая.</u> <u>Допустимая область</u> — <u>Поточечное</u> <u>редактирование</u> — <u>Таблица Трансформации</u> — <u>Сегменты</u> — <u>Настройки</u> — <u>Изменение каркаса</u> — <u>МG-файлы</u> — <u>Режим</u> <u>редактора h-линий</u>

Утилита MG File Editor (UMG) является графическим инструментом редактирования геометрии модели. Название утилиты связано с тем, что каркас модели (model <u>wireframe</u>) хранится в файлах формата MG. Утилита запускается из меню Tools Менеджера проектов.

#### Решетка

Рис. 1 показывает каркас из трех кривых на планшете UMG. Кривые задаются на равномерной х-сетке. Кривые являются простыми, т.е. являются графиками функций вида z=f(x). Файлы формата <u>MG</u> могут хранить кривые, заданные на произвольной х-сетке, причем своей для каждой кривой. Утилита UMG читает такие файлы, но пересчитывает их кривые на общую равномерную сетку (с практической точки зрения это оптимальный для редактирования способ представления).



Рис. 1. Главное окно UMG

На рис. 1 показана двумерная решетка с вертикалями, проходящими через узлы х-сетки. Горизонтали решетки являются виртуальными в том смысле, что ячейки всегда являются квадратными – для удобства редактирования. В то время как шаг х-сетки является константой для данного каркаса, реальное расстояние (т.е. выраженное в единицах длины) между горизонталями зависит от шага х-сетки, вертикального размера области каркаса и вертикального размера окна. В каждый момент реальные размеры шагов _АХ и _АZ решетки выводятся под планшетом.

#### Создание каркаса

Управление утилитой сосредоточено на панели инструментов. Первые три кнопки панели инструментов выбрасывают меню. Для создания нового каркаса щелкните о кнопке *Wireframe* и в выпадающем меню выберите *New Wireframe*. Команда выводит диалог *Definition of Grid* для определения решетки (рис. 2).



#### Рис. 2. Диалог определения решетки.

В диалоге следует задать число узлов х-сетки и ввести границы прямоугольной *области каркаса*, в которой должны располагаться все кривые. Число узлов N следует выбирать исходя из требуемой детальности описания кривой, в пределах от 25 до 160; N является константой для данного каркаса. Область каркаса можно будет при необходимости расширить по вертикали в ходе редактирования. После щелчка по кнопке *ОК* на планшете выводится пустая область каркаса с решеткой, имеющей N вертикалей.

Точки кривых могут находиться только на вертикалях. При перемещении курсора по планшету на статусной панели выводятся текущие (реальные) координаты точки: Х и Z. Перед полем X выводится номер ближайшей вертикали, а перед полем Z – номер ближайшей горизонтали. Утопив кнопку момер вертикали и координаты в окне подсказки непосредственно под курсором. Изображение на

132

планшете можно масштабировать по вертикали, выбирая нужный масштаб из выпадающего списка Vertical Scale на статусной панели.

#### Добавление кривой

Кривая может быть добавлена в любое место каркаса. Кнопка  $\stackrel{\checkmark}{\leftarrow}$  выводит информацию для пользователя: он должен выполнить двойной щелчок по точке, через которую, ориентировочно, будет проходить кривая. Эта точка определяет положение новой кривой по отношению к существующим кривым или верхней/нижней границам каркаса. После закрытия сообщения кнопкой *ОК* программа остается в режиме добавления (кнопка добавления утоплена) и ждет двойного щелчка. После двойного щелчка на планшете появляется *кривая по умолчанию*, которая подлежит редактированию. Отменить операцию до двойного щелчка можно кнопкой *Cancel* в диалоге с сообщением, а в режиме ожидания – повторным щелчком по кнопке добавления.

#### Текущая кривая. Допустимая область

Добавленная кривая становится *текущей* или *выделенной* (selected), поскольку она выделяется атрибутами рисовки (рис. 1). Текущая кривая находится в фокусе в том смысле, что к ней относятся все команды редактирования. При наличии нескольких кривых сменить текущую можно так. Захватите целевую кривую резиновым контуром и в рк-меню выберите команду *Select Curve to Edit*. Целевая кривая станет выделенной, но только если прежняя текущая кривая была определена во всех узлах х-сетки (об этом ниже).

Каркас состоит из непересекающихся кривых и, более того, они должны быть отделены друг от друга на каждой вертикали со значимым *допуском* h. Эти требования задают для каждой кривой *L допустимую область* (curve permissible area), в пределах которой ее можно изменять. Если опустить соседнюю кривую сверху (или верхнюю границу каркаса) на h, а соседнюю снизу (или нижнюю границу) поднять на h, то полученная полоса и будет допустимой областью для *L*. Программа сама определяет разумную величину h и следит за выходом редактируемой кривой за пределы допустимой области.

### Поточечное редактирование

Покажем, как быстро создать кривую несложной формы. Используем для этого следующие возможности программы:

двойной щелчок по точке М планшета делает ее проекцию М' на ближайшую вертикаль V точкой текущей кривой на V; двойной щелчок по точке М с нажатой клавишей Shift удалят с ближайшей к М вертикали точку текущей кривой.

- 1. Добавим новую кривую в нужное место каркаса (рис. За).
- 2. Щелчком по кнопке 👗 удалим все точки кривой по умолчанию, кроме крайних (рис. 3b).
- 3. С помощью двойных щелчков создадим эскиз кривой, указав несколько характерных точек (рис. 3с).
- 4. Доопределим кривую на всех узлах х-сетки, используя линейную или сплайновую интерполяцию (puc.3d). Эти команды находятся в выпадающем меню Curve: Interpolate/Linear, Interpolate/Spline.



Рис. 3. Создание кривой. а) кривая по умолчанию после добавления; b) все точки, кроме крайних удалены; c) эскиз кривой; d) окончательный вид кривой после сплайн-интерполяции.

Несколько последних изменений кривой можно отменить щелчками по кнопке *S*. Это относится к любым операциям редактирования. Соседняя справа кнопка возвращает отмененные операции. При построении эскиза кривой возможны ошибки выхода из допустимой области. Двойной щелчок слишком близко к соседней кривой или границе каркаса, а тем более, вызывающий пересечение кривых, блокируется с выводом сообщения об ошибке.

### Таблица

Кнопка 🔜 выводит (плавающее) окно с числовой таблицей, представляющей уравнение кривой. Колонки таблицы: номер точки (вертикали решетки), х- и z-координаты точки. Окно может висеть над планшетом во время редактирования, причем таблица отображает выполненные изменения. Длина таблицы не меняется и равна числу узлов x-сетки. Удаленные точки отличаются пустым полем в колонке "Z". Если флажок Show point on the image под таблицей поднят, точка, выделенная в таблице, указывается на планшете красной стрелкой.

#### Трансформации

Кнопки инструментальной панели и меню *Curve* содержат команды различных преобразований текущей кривой.

Команда	Описание операции
Кнопки 个 и 🕂	Вертикальный сдвиг на величину шага, заданную в диалоге параметров операций.
Кнопки 中 и	Горизонтальный сдвиг: кривая как целое смещается вправо или влево на число шагов x-сетки, заданное в диалоге параметров. При сдвиге вправо точки на правом краю пропадают, новые точки слева имеют ту же Z-координату, что первая точка кривой до сдвига. При сдвиге налево картина симметричная.
Interpolate	Определяет кривую, заданную на некоторых узлах x-сетки, на всех ее узлах, используя линейную (linear) или сплайновую (spline) интерполяцию. Текущая кривая считается "готовой", если определена во всех узлах x-сетки.
Approximate	Заменяет текущую кривую многочленом или кубическим сплайном с равноотстоящими узлами, которые аппроксимируют кривую в смысле метода

Таблица 1. Преобразования кривой

	наименьших квадратов. Степень многочлена и число сопряжений сплайна задаются в диалоге параметров.
Smooth	Сглаживает кривую методом скользящего среднего или скользящей медианы. Полуширина скользящего окна задается в диалоге параметров.

Выполнение каждой из перечисленных в таблице операций может иногда привести к возникновению ошибки выхода из допустимой области.

#### Сегменты

Операции удаления точек, вертикального сдвига, интерполяции и сглаживания в скользящем окне можно применять не только ко всей кривой, но и к любому ее отрезку (сегменту). Для этого сегмент надо выделить, захватив его резиновым контуром и выбрав в рк-меню команду *Select Segment*. Отрезок окрасится цветом сегмента (по умолчанию, красный) и станет объектом перечисленных операций. Команды, не применимые к сегментам, становятся недоступными. Поточечное редактирование доступно всегда. Отменить выделение можно кнопкой 🔀 или двойным щелчком по планшету.

#### Настройки

Настраивать можно атрибуты рисовки кривых (команда Wireframe/Drawing attributes) и параметры операций (команда Curve/Parameters). Каждая команда выводит свой диалог (рис. 4).



Атрибуты рисовки включают: размер точки (node size), ширину звена (link width), цвет кривой (curve color) и цвет сегмента (segment color). Используются два набора атрибутов: для текущей кривой и для прочих кривых. В диалоге наборы переключаются радио-кнопками Ordinary (обычная) и Selected (текущая) на верхней панели. Наборы атрибутов следует выбирать так, чтобы текущая кривая заметно отличалась от остальных.

Окно параметров операций является плавающим, оно не блокирует доступ к планшету. Параметры перечислены в таблице 2.

Операция	Параметр операции
Horizontal shift	Горизонтальный сдвиг. Параметр — величина шага. Задается в числе шагов х-сетки.
Vertical shift	Вертикальный сдвиг. Параметр — величина шага. Задается в процентах от величины шага х-сетки.

Таблица 2. Параметры операций

Polynomial approximation	Полиномиальная аппроксимация кривой. Параметр — степень многочлена. Не может быть больше числа точек кривой минус 1.
Spline approximation	Аппроксимация кубическим сплайном с равноотстоящими сопряжениями. Параметр — число сопряжений. Не может быть больше числа точек кривой минус 4.
Smoothing by moving average	Сглаживание скользящим средним. Параметр — полуширина скользящего окна. Окно содержит текущую точку кривой, R точек слева от нее и R точек справа. R и есть полуширина окна. Z-координата текущей точки заменяется средним Z-координат точек в окне.
Smoothing by moving median	Сглаживание скользящей медианой. Параметр тот же, что в предыдущей операции (здесь, вместо среднего вычисляется медиана). Метод полезен при сглаживании кривых с сильными локальными флуктуациями.

### Изменение каркаса

Операции, относящиеся к изменению каркаса, включают добавление кривой, рассмотренное выше, и операции, запускаемые командами выпадающего меню *Wireframe*. Они перечислены в таблице 3.

Таблица 3. Команды меню Wireframe.

Команда	Описание операции
New Wireframe	Создание нового каркаса (см. <u>выше</u> ).
Remove Curve	Удаляет текущую кривую из каркаса. Не путать с командой 📩, которая удаляет точки кривой, но не кривую в составе каркаса.
Expand	Расширяет область каркаса по вертикали. Пользователь задает новые Z-координаты верхней и нижней границы прямоугольной области каркаса.
Clear	Уничтожает созданный или импортированный каркас в оперативной памяти.
Drawing Attributes	Выводит диалог с атрибутами рисовки (см. <u>выше</u> ).

### MG-файлы

Команды загрузки и сохранения каркасов собраны в меню *MG File* и перечислены в таблице 4. Подробности следуют после таблицы.

Таблица 3. Команды меню MG File.

Команда	Операция	
Open	Загружает каркас из указанного MG-файла.	
Remove Curve	Удаляет текущую кривую из каркаса. Не путать с командой ँ, которая удаляет точки кривой, но не кривую в составе каркаса.	
Save	Сохраняет отредактированный каркас в файл, из которого был загружен, а если он был создан заново – в указанный пользователем файл.	
Save As	Сохраняет текущий каркас в указанный пользователем файл.	
Import Curve	Читает кривую с указанным номером из MG-файла и вставляет ее в каркас. Подробности ниже.	

136

При открытии файла для загрузки каркаса или импорта кривой UMG проверяет структуру файла и выявляет ошибки. Если их нет, утилита определяет область каркаса и оптимальное число узлов х-сетки. Область каркаса и число узлов выводятся в диалоге *Definition of Grid* (рис. 2). В нем пользователь может увеличить число узлов и вертикальный размах области. После закрытия диалога каркас выводится на планшет.

При импорте кривой в текущий каркас программа предлагает пользователю выбрать номер нужной кривой из списка номеров, обнаруженных в MG-файле. Утилита пересчитывает эту кривую на сетку каркаса и пытается вставить ее. Если обнаружено пересечение новой кривой с существующими кривыми или выход за пределы области (с учетом <u>допуска</u>), то импорт блокируется и выводится сообщение об ошибке.

В MG-файле, созданном утилитой при сохранении, кривые заданы на x-сетке, которую пользователь видит на экране, даже если каркас был первоначально загружен из файла, в котором кривые были заданы подругому.

#### Режим редактора h-линий

В этом качестве утилита вызывается модулем Model Editor для редактирования и импорта h-линий решетки. Особенности этого режима, в котором часть функциональности скрыта от пользователя, описаны <u>здесь</u>.

### 3 Статические поправки

#### Задача

Применение томографии для расчета статических поправок в записи MOB-OFT хорошо известно. В этой задаче томография на первых вступлениях используется для изучения распределения скорости в верхней части разреза по первым вступлениям. Утилита Static Calculator (USC) рассчитывает статические поправки для заданного набора станций, используя скоростной разрез, полученный в XTomo-LM.

Станции задаются своими номерами и координатами в системе координат того проекта, модель из которого используется для верхней части разреза. Информация о станциях поступает в виде ASCII файла формата <u>SLS</u> (Station Locations for Statics). Новые линии приведения считаются горизонтальными и задаются уравнениями Z = h для набора постоянных h = h₁, h₂, ... h_n, который пользователь задает в главном окне утилиты. Для каждого значения h_i утилита создает файл поправок формата <u>SC</u>, который имеет расширение ".sc" или ".txt", по выбору. Имя файла имеет шаблон **«префикс»(<h>.ext>**, например, statics(-1500).txt. Чтобы уровни линий приведения можно было задавать как целые, файл станций SLS содержит необходимый масштабный коэффициент.

#### Пользовательский интерфейс

Утилита запускается командой главного меню Project Manager *Tools/Static Corrector*. При этом корневой узел, в котором хранится нужная модель, должен быть выделен в Дерево обработки. Фрагмент главного окна показан на рис. 1.

lodel Folder	
C:\XTLM3_Works\Barentz	z Sea G4 2008\Model 2
SLS File (Stations)	
C:\XTLM3_Impex\SLS\213	34-67.sls
	Scale factor for datum Z: -1000
7 - H. H. compled from [h	11 H21 with stop Du all numbers are integer
Z = H; H sampled from [H           H1         -250         H2	-50 D 10 H1 < H2; D > 0
Z = H; H sampled from [H H1 -250 H2 ]	H1, H2] with step D; all numbers are integer -50 D 10 H1 < H2; D > 0
Z = H; H sampled from [H         H1       -250       H2         tput         SC file name prefix       E	H1, H2] with step D; all numbers are integer         -50       D         10       H1 < H2; D > 0         Extension       Text
Z = H; H sampled from [H         H1       -250       H2         tput         SC file name prefix statics       E	H1, H2] with step D; all numbers are integer         -50       D         10       H1 < H2; D > 0         Extension       Text         TXT       Windows
Z = H; H sampled from [H         H1       -250       H2         tput         SC file name prefix       E         statics	H1, H2] with step D; all numbers are integer         -50       D         10       H1 < H2; D > (         Extension       Text         TXT       Windows

Рис. 1. Определение входных данных для USC.

Окно содержит три панели: Input (входные данные), Datum (линия приведения) и Output (выходные данные). На панели Input представлены поля Model Folder (заполняется автоматически) и SLS File. Имя файла следует выбрать, пользуясь кнопкой справа. На панели Datum задается последовательность горизонтальных линий приведения Z = H. Пользователь вводит граничные значения H1 и H2 и шаг D.

На панели Output задается имя файла согласно шаблону: заполняется поле префикса и выбирается расширение. Если файл готовится для вывода на платформу Unix, укажите это, выбрав нужную строку в списке *Text*. Для выбора выходной папки, в которую помещаются файлы SC, щелкните по кнопке справа от поля Output folder для вызова локального браузера папок. Щелчок по кнопке Start запускает операцию.
# Приложения

# 1 Форматы основных ASCII файлов

Типы (форматы) ASCII файлов, используемых в XTomo-LM, можно разделить на два класса: *табличные* (их большинство) и *последовательные*. В табличном формате данные представлены в виде таблицы с известным числом колонок. В каждой строке файла должно быть одинаковое количество чисел, равное числу колонок. Числа не должны быть обязательно выровнены по колонкам. *Разделителями* между числами в строке могут быть пробелы, блоки пробелов, запятые, знаки табуляции. В табличном файле часто присутствует *титульная строка* – первая строка файла, в которой стоят заголовки колонок (часто в кавычках). Строка не интерпретируется при вводе.

Последовательные форматы определяют файл, состоящий из блоков одинаковой структуры. Блок обычно состоит из заголовочной строки и таблицы. Такой файл перечисляет набор объектов, например, кривых.

Пустая строка во входном файле воспринимается как конец файла. Некоторые форматы допускают строки-комментарии. Они должны начинаться с двойного слэша: "//". Такие форматы ниже помечены звездочками.

ВАЖНО: Во всех ASCII файлах, импортируемых в XTomo-LM или экспортируемых из XTomo-LM, десятичным разделителем дробных чисел является TOЧKA, независимо от настроек Windows. В установках по умолчанию русскоязычной Windows разделителем является запятая. Это следует иметь в виду при подготовке входных файлов в приложениях Windows. Например, при использовании MS Excel следует установить точку в качестве разделителя в параметрах программы.

#### BLN

Последовательный формат для набора кривых. Является входным для графической системы Surfer[®]. Один блок отвечает одной кривой (горизонту, лучу). Заголовочная строка содержит число точек кривой. Далее следует таблица точек кривой с колонками X, Z.

#### DAT

Этот табличный формат используется для представления функции двух переменных F(X, Z), как скорость или плотность лучевого покрытия. Формат является входным для графической системы Surfer[®]. Колонки: X, Z, F. Пример титульной строки: "X", "Z", "V".

#### MG

Табличный формат XTomo-LM для хранения набора кривых, которые могут описывать <u>каркас модели</u>. Название происходит от "model geometry". Колонки: Номер кривой, X, Z (рис. 1). Для всех точек одной кривой значение в первой колонке одно и то же. Точки кривой следуют по возрастанию X, номера кривых следуют по порядку, начиная с 1 или 0. Если первая кривая имеет номер 0, то при создании <u>стартовой</u> <u>модели</u> проекта она интерпретируется как верхняя граница модели. (рис. 1а).

			X = 4.500	
"Horizo	n #","X","Z"		-0.010	1.93
1	0.000	-2.700	-0.422	1 93
1	2.041	-2.819	-0.422	2.02
1	4.082	-2.926	-0.427	2.02
1	6.122	-3.022	-0.668	2.06
1	8.163	-3.107	X = 9.500	
1	10,204	-3.182	-0.010	1.95
-			-0.298	1.95
			-0.327	2.02
2	0.000	-12.947	-0.525	2.05
2	2.041	-13.046	-0.710	2.09
2	4.082	-13.142	-0.906	2.13
2	6.122	-13.237	-1.122	2.17
2	8.163	-13.329	-1.357	2.22
2	10.204	-13.418	-1.613	2.28
2	12.245	-13.505	-1.880	2.33
2	16.327	-13.667	-2.154	2.39
2	18.367	-13.742	x = 14.500	
2	20.408	-13.813	-0.010	2.00
2	22.449	-13.879	-0.209	2.00
	а		b	

Рис. 1. Форматы ASCII файлов. а – MG (набор кривых); b – VC (набор скоростных колонок).

#### S+R*

Формат требует пары файлов со списками источников и приемников. Первый имеет расширение ".s", второй — ".r", хотя файлы устроены одинаково. Например, файл источников является таблицей с колонками ID, X, Z (рис. 2а). Упорядочения строк не требуется.

#### SR*

Табличный формат описания системы наблюдений, в виде пар "источник-приемник". Содержит 6 колонок, три для источника, три для приемника (рис. 2b).

"ID	", "X", "Z		"S I	D","S X",	"S Z","R	ID","	R X", "R Z	
1	0.00000	-0.01000	1	0.000	-0.010	1	0.000	0.000
2	10.00000	-0.01000	1	0.000	-0.010	2	1.000	0.000
3	20.00000	-0.01000	1	0.000	-0.010	3	2.000	0.000
4	30.00000	-0.01000	1	0.000	-0.010	4	3.000	0.000
5	40.00000	-0.01000	1	0.000	-0.010	5	4.000	0.000
6	50.00000	-0.01000	1	0.000	-0.010	6	5.000	0.000
7	60.00000	-0.01000	1	0.000	-0.010	7	6.000	0.000
8	70.00000	-0.01000	1	0.000	-0.010	8	7.000	0.000
	а				b			

Рис. 2. Форматы ASCII файлов. а – S+R (источники или приемники); b – SR (система наблюдений).

Упорядочения строк в файле не требуется.

#### SRT*

Табличный формат для описания кинематических наблюдений для I-проекта. Первые 6 колонок такие же, как формате SR, по три колонки для источника и приемника. Далее следует колонки с наблюденным временем пробега волны и кодом волны (рис. 3).

	Приложения					141	
						_	
S ID	s x	S Z	R ID	RX	RZ	То	Wave
- 1	0.000	-0.010	-1	0.000	0.000	0.005	0
1	0.000	-0.010	2	1.000	0.000	0.525	0
1	0.000	-0.010	3	2.000	0.000	1.050	0
1	0.000	-0.010	4	3.000	0.000	1.573	0
1	0.000	-0.010	5	4.000	0.000	2.096	0
1	0.000	-0.010	6	5.000	0.000	2.609	0
1	0.000	-0.010	7	6.000	0.000	3.114	0
1	0.000	-0.010	8	7.000	0.000	3.610	0
1	0.000	-0.010	1	0.000	0.000	7.513	10
1	0.000	-0.010	2	1.000	0.000	7.528	10
1	0.000	-0.010	3	2.000	0.000	7.560	10
1	0.000	-0.010	4	3.000	0.000	7.611	10
1	0.000	-0.010	5	4.000	0.000	7.678	10
1	0.000	-0.010	6	5.000	0.000	7.762	10
1	0.000	-0.010	7	6.000	0.000	7.863	10
1	0.000	-0.010	8	7.000	0.000	7.978	10
1	0.000	-0.010	9	8.000	0.000	8.108	10

Рис. 3. Форматы ASCII файлов. Формат SRT предназначен для описания наблюдений в І-проектах.

Система томографии на первых вступлениях Firstomo использует в качестве файлов наблюдений формат #DT. Он отличается от SRT отсутствием столбцов с номерами источников и приемников и кодом волны. В файлах форматов SRT и #DT какой либо упорядоченности строк не требуется.

#### VC

Формат XTomo-LM для хранения импорта/экспорта скоростных колонок. Последовательный формат с блоками, отвечающими скоростным колонкам. Заголовочная строка блока содержит абсциссу скоростной колонки в виде X = <число> (рис. 1b), после чего следует таблица "Z-V" для скоростной колонки.

#### VFT

Формат для скорости модели, используемый системой Firstomo и всеми версиями XTomo-LM. Табличный файл без титульной строки с колонками: номер ячейки в Firstomo, X, Z, V. Используется для обмена между разными версиями систем Firstomo, XTomo-LM.

# 2 Другие форматы

#### Форматы файлов для статических поправок

Использование XTomo-M для ввода статических поправок требует входного файла станций (формат SLS) и выходного файла поправок (формат SC). Необходимы сведения о реализации можно найти <u>здесь</u>. Форматы обоих типов файлов приведены на на рис. 1

142

ZScale = -1000			Reference data	um elevation:	-250
"Station ID",	"X",	"Z"	"Station ID",	"Correction	(ms) "
333	99.8764	0.0	999999999	9999999	
334	99.0783	0.0	333	-114	
335	98.2804	0.0	334	-114	
336	97.4825	0.0	335	-114	
337	96.6845	0.0	336	-114	
338	95.8858	0.0	337	-114	
339	95.0879	0.0	338	-114	
340	94.2899	0.0	339	-115	
341	93.4920	0.0	340	-115	
342	92.6941	0.0	341	-115	
343	91.8954	0.0	342	-115	
344	91.0974	0.0	343	-115	
345	90.2995	0.0	344	-115	
346	89.5016	0.0	345	-115	
347	88.7035	0.0	346	-115	
348	87.9049	0.0	347	-116	
349	87.1070	0.0	348	-116	
350	86.3091	0.0	349	-116	
a)					

Рис. 1. Форматы файлов для ввода статики. а - SLS (станции); b - SC (поправки).

Вторая строка файла - титульная (задает имена колонок). Она не интерпретируется, но должна присутствовать в файле. Далее следует таблица "ID станции–Х–Z". Разделителями колонок в строке файла могут быть пробелы, запятые или знаки табуляции. Выравнивания не требуется.

Формат файла SC приспособлен к вводу в одну из стандартных сейсмических систем обработки. В первой строке указывается z-координата линии приведения, на которую пересчитываются станции. Истинная глубина в используемых единицах рассчитывается с помощью масштабного коэффициента из файла SLS. Далее следует титульная строка (ID станции и поправка в миллисекундах, которую надо добавить к времени станции). Последовательности из девяток указывают на максимальную длину числа в таблице. Далее следует, собственно, таблица.

# Указатель

# - A -

apparent velocity 71 archive 45

# - C -

color set 44 column 20 concurrency 87 conversion coefficient (CC) 18 converted wave 18

# - D -

Data Preparation Unit 22 docked 88, 90 DPU 16, 22

# - F -

 Firstomo
 22, 139, 140

 fixed cell
 97

 forward problem
 85

 FPS
 85

 FPV
 85, 88

 f-узел
 35

# - G -

GPA 60, 61 grid 20 Grid Perturbation Area 60, 61

# - H -

head wave 18 h-line 20 horizon 21 horizon ID 21 Horizon Previewer 118 horizontal strip 20 hot keys 51

#### - | -

ID волны 19 ID горизонта 21 initial points 122 Inverse Problem Viewer 105 inversion project 17 IPS 103 I-проект 17 i-узел 35

- L -

luminance 41

### - M -

MED 54 mesh 20 MG File Editor 24, 131 Model Editor 54 Model Viewer 47 model wireframe 131 modeling project 17 MOV 47 m-узел 35

## - N -

New Project Constructor 30 node 20

# - 0 -

о-узел 35

### - P -

package 44, 45 permissible area (wireframe) 133 Processing Tree 27 Project Manager 26 project properties 32

### - R -

Ray Catalog 64 ray coverage 95 ray-tracing precision 87 RC 95 RCH 95 RCV 95 reciprocal points 113 points base 113 time 113 reciprocal points 113 reciprocal points base 113 reciprocal time 113 reflection 18 Reflector Builder 118 refraction 18 **Refractor Builder** 122 regularized linear least squre problem 100 resolution 25 resolution error 25 row 20

### - S -

144

SC (формат файла) 137 seismic horizon 21 selector 50 SLS (формат файла) 137 64 spread SRE 74 SRT Data Extractor 74 SRT Port 65 SRT Port Manager 65 SRT TX-curve Viewer 69 67 SRT порт архив 72 база данных 66 69 годографы менеджер 65 72 экспорт SRT-порт 22, 64 база SRT-данных 65 склад 65, 67 stabilizer 100 starting model 29 Surfer 17, 52

# - T -

time errors (residuals) 88

tolerance 129 zero top line 54 TX-curve sample for inversion 110 **TX-Curve Explorer** 115 - U -UMG 24, 131 - V velocity in selection 50 velocity profile 52 vertical strip 20 - W wave code 19 wave ID 19 wave list 39 wireframe 131 - X -XMF 16, 29 - A -44, 45 архив -Ббаз сопряжения 113 база данных горизонтов 113 менеджер 118 база сопряжения 122 быстрые клавиши 51 - B -113 ваимные точки годографов верхняя граница модели изменение 54 взаимное время 115 виртуальный f-узел 94 волна

converted

18

волна diving 18 diving wave 18 head 18 19 ID refraction 18 transient 18 атрибуты рисовки 41 18 головная добавление 40 19 кодировка непрерывно-рефрагированная 18 18 ныряющая обменная 18, 40, 86 отраженная 18 первая 18 преломленная 18 18 проходящая редактирование атрибутов 41 список 39 список, экспорт/импорт 39 встречные годографы 113 выборка лучей 92 93 создание 94 сохранение выборки из базы SRT-данных 75 вычисления 24

### -Г-

геометрия модели 24 90 годограф база 109 встречный (reversed) 23 выборка 109 115 выборка для обращения головная волна 113 интервал задания 109 начальные точки 122 109 ныряющей волны обращение 113 обращение годографов 113 отраженная волна 113 подготовка к обращению 115 полубаза 109 прямой (direct) 23 система 23, 69, 109, 113 система, обращение 113

109 средняя точка графический модуль selector 50 51 быстрые клавиши выделение 50 изображение модели 47 лупа 51 прокрутка 51 профиль скорости 52 резиновый контур 50 рк-меню 50 49 свойства решетки 69 семейство кривых список горизонтов 49 увеличение 51 экспорт в ASCII файлы 52 экспорт в графические файлы 53

# -д-

```
двойной индкс ячейки
                        20
Дерево обработки
                    27
   f-узел
            35
   і-узел
            35
             35
   m-узел
   о-узел
            35
   контекстное меню
                       37
   копирование узлов
                        36
                 35
   примечания
   создание узлов
                     36
   схема обработки
                      35
   удаление узлов
                     36
допуск
           129
   нуля
```

### - E -

единица длины 25 единицы изме6рения 24

### - 3 -

замораживание скорости 97

### -И-

импорт геометрии модели 29 набора скоростных колонок 29, 59

импорт 59 20 скоростной колонки верхняя границы файла наблюдений 67 вставка скоростной колонки геометрии и скорость 63 -Кгоризонт 21 горизонт, список 21 кажущаяся скорость 71 градиентная 14 каркас модели 29.60.131 54 замена скорости 133 permissible area 60 изменение геометрии допустимая область 133 каркас 29 Каталог лучей 76 20 концепция f-узел 64 начальная 14 о-узел 64 20 прямоугольник в виде систем годографов 79 редактирование 54 в виде таблиц 78 сейсмические горизонты в графическом виде 77 сейсмический горизонт в М-проекте 80 слоистая 14 выборка данных из SRT-порта 73 стартовая 20, 29 заполнение 73 функция скорости 20 копирование в SRT-порт 64, 79 модуль 17 полный 64 активный 26, 39 полный, создание 83 26 графический экспорт 78 39 краткое имя кинематическая интерпретация 14 26 первичные кодировка волн 18, 19 первичный 26 конвертация данных версии 2 44 список активных модулей концепция предсталения модели 19 М-планшет 88 копирование скорости 59 М-проект 17 коэффициент конверсии 18

#### -л-

146

лупа 51 лучевая картина 88, 89

#### - M -

39 Менеджер волн Менеджер проектов 26, 27, 33 метод наименьших квадратов 100 моделирование 14 наблюдений 64 моделирование наблюденных данных 98 модель horizon 21 h-линия, импорт 60 h-линия, перемещение 60 h-линия, редактирование 60 seismic horizon 21

#### - H -

22 наблюдения 23 набор скоростных колонок начальное приближение 14 начальные точки годографов 122 14, 88 невязки времен распределения 94 статистики 94

#### - 0 -

область возмущения решетки 60 14, 100 обратная задача томографии допуск 105 105 карта относительных поправок просмотр решения 105 решение 105 обратная кинематическая задача 14

обращение годографов 14 ныряющая волна 108 общая папка 28 ограничения 100 ошибка разрешения 25

### -п-

пакет 44, 45 папка 28 арзивная архивная 45 импорта-экмпорта проекта 32 30 импорта-экспорта проекта 28 импорта-экспорта, общая общая 28 рабочая 28 первые вступления 18 планшет графического модуля 26 95 плотность лучевого покрытия послойная интерпретация 97 построение 108 начального скоростного разреза сейсмических горизонтов 113 построение рефлектора 118 примеры 123 проект 44, 45 архив архивация 33 добавление в рабочую папку 33 из данных версии 2 33 клонирование 33 конвертация данных версии 2 44 копирование 33 пакет 44, 45 переименование 33 32, 33 свойства создание 29.33 создание из версии 2 46 33 создание из пакета/архива удаление 33 47 профиль скорости 48 вертикальный 48 кусочно-линейное функция ступенчатая функция 48 профильные наблюдения 23.67 прямая задача 14, 85

задание 85 обменные волны 86 праметры выполнения 88 протокол 88 распараллеливание 87 решение 85

#### - P -

рабочая папка 28 25, 32 разрешение регулязизация 100 100 регуляризатор редактор h-линий 61, 62, 137 резиновый контур 50 рефлектор 122 оценка 21 решетка 20 h-линия h-линия, импорт 60, 62 h-линия, перемещение 60.61 h-линия, редактирование 60, 61 20 V-ЛИНИЯ вертикаль 20 63 верхняя h-линия верхняя граница модели 54 55 вставка рядов и колонок 63 геометрии и скорость 60 изменение геометрии изменение густоты 55 20 колонка область возмущения 60 полоса 20 20 ряд узел 20 20 ячейка ячейка, вершина 20 ячейка, двойной индекс 20 50 рк-меню ручной подбор модели 14

#### - C -

свойства проекта 32 решетки 49 сглаживание 100 сейсмические горизонты 63 сейсмический горизонт 21 23 система годографов система координат 20 система наблюдений 64 скоростная колонка 109 импорт 59 кусочно-линейная 23 набор 23, 29, 109 набор, импорт 59 стартовая модель 29 ступенчтая 23 скорость in-place editor 58 refined 100 в выделенной области 50 в покрывающей среде 118 23 данные замена 59. 112 замораживание 97 71 кажущаяся карта разности 129, 131 копирование 59 продолжение 57 редактирование 56, 57 редактирование "на месте" 58 сглаживание 57 128 сравнение сравнение профилей 131 степенная фунеция 57 уточненная 100 уточненная, копирование 107 фиксация 97 сопряженные точки 113 спектр скорости 33 44 color sets диапазон скорости 43 линейчатый 41 непрерывный 41 редактирование 42 редактирование линий 43 создание 43 цветовые наборы 44 черные ячейки 44 яркость 43 список активных модулей 26 39 волн горизонтов 21, 49

148

сравнения Va 71 сравнение скоростей 128 стабилизатор 100 стартовая модель 29, 112 статические поправки 137, 141 схема обработки 27

#### - T -

текущее множество лучей 93 томография на первых вступлениях 14, 100 начальное приближение 108 обратная задача 14, 103 обртная задача 100 100 ограничения регуляризация 100 100 стабилизатор теория 100 Т-планшет 88, 90 трассировка лучей точность 87

#### -У-

утилита 17 MG File Editor 131 Static Calculator 137 UMG 131 Velocity Comparator 128

### -Φ-

файл #DT 139, 140 ASCII 139. 141 BLN 139 CS 44 DAT 139 MG 24, 29, 139 SиR 140 S+R 22, 139 SC 141 SLS 141 SR 22. 140 SRT 22, 139, 140 VC 23, 29, 139, 141 VFT 29, 139, 141 наблюдений 22, 67

Указатель	149

фиксация скорости 97 формат числовых данных 25 форматная строка 25, 32 ф-ячейка 97

# -Ц-

цикл обработки 27 завершение 107

# -Ч-

черные ячейки 44 устранение 59

# -Э-

экспорт в ASCII файлы 52, 78, 98 в графические файлы 53, 98 скоростной колонки 52