

## ОПТИМИЗАЦИЯ ОТОБРАЖЕНИЯ 3D-СЕЙСМИКИ БОЛЬШОГО ОБЪЕМА В ПАКЕТЕ TESSERAL PRO

*Р. А. Ющенко*

Институт кибернетики им. В.М. Глушкова НАН Украины,  
03178, Киев, проспект Академика Глушкова, 40.  
Тел.: (044) 526 3603, pgt@ukr.net

Пакет Tessleral Pro предназначен для построения глубинных скоростных и многокомпонентных моделей 2D для проведения сейсмического полноволнового моделирования земной коры 2D и так называемого 2.5D. Для более точного создания модели используются данные каротажного исследования, в частности, стратиграфия и акустическое зондирование. Поскольку данные полевых исследований имеют как правило большой объем, для их визуализации и обработки требуются специальные алгоритмы, иногда пренебрегающие точностью (качеством) визуализации для обеспечения необходимой скорости.

Tessleral Pro is dedicated to providing a tool for building velocity and multicomponent 2D-models for seismic full-wave modeling 2D and 2.5D. For more precise model building the package uses well logs data, grid maps and acoustic probing. As long as field research data is very large, a special techniques should be applied so the data can be presented (visualized). Techniques used in Tessleral Pro may neglect some precision and quality of the image in the tradeoff of speed.

### Введение

Сейсмические исследования являются основным способом геологического исследования на поверхности, в частности нефтяных месторождений. Бурение одной скважины стоит 5–10 млн. грн., что намного превышает стоимость сейсмического исследования вдоль многокилометрового маршрута [1]. Восстановление структуры земной коры по данным сейсмического исследования является недоопределенной задачей, которую специалист-геофизик решает путем пошагового приближения модели с учетом различной дополнительной информации [2].

Данные полевых исследований представляют собой записи колебаний давления почвы на сотнях и тысячах сейсмоприемников относительно подачи сейсмоприемником сигнала (например, взрыв). Каждая запись сейсмоприемника во времени относительно сигнала с конкретного источника называется трасса. Множество трасс связанных с одним пунктом взрыва называется сейсмограммой. Общие объемы сейсмограмм для сейсмического исследования одного месторождения составляют от десятков до сотен Гбайт.

Пакет Tessleral Pro, разработанный компанией Tessleral Technologies Inc., предназначен: во-первых, для создания глубинной скоростной модели по скважинным данным; картам геологических поверхностей, сейсмическим 2D, 3D-моделям; во-вторых, для 2D моделирования (расчета синтетических сейсмограмм по построенной модели); в-третьих, для подготовки задания расчета 2.5D моделирования на параллельном компьютере.

Большое время моделирования и миграции препятствует практическому использованию сложных моделей, что снижает точность, и соответственно, качество результатов исследований [3]. Резкое развитие вычислительной мощности суперкомпьютеров кластерной архитектуры за последние 5–10 лет открывает для сейсмических исследований новые возможности [4].

### Объект «Сейсмика»

Tessleral Pro реализован по принципу «документ-представление», поэтому центральным элементом приложения является документ. Но поскольку в процессе работы возникает необходимость использовать данные разной формы представления (тексты, картинки, стратиграфические карты, скоростные полигональные модели, сейсмика), документ состоит из «объектов». Каждый такой объект предназначен для работы со своими специфичными для него данными. Далее в тексте под словом «объект» будет подразумеваться исключительно объект документа Tessleral Pro.

Объект «Сейсмика» предназначен для визуализации данных полевых сейсмических исследований, 2D и 3D растровых многокомпонентных моделей с возможностью: загрузки нескольких сейсмограмм в одной системе наблюдения, масштабирования координат источников и приемников, поворота осей координат, выбора цветовой палитры значений, визуализации вертикального разреза по произвольному профилю в виде отрезка, визуализации горизонтального сечения по горизонтальному профилю и по заданной поверхности. Поддерживаются форматы: SEG-Y, TGR и SDS-PC.

Основной причиной медленного отображения трасс является то, что их большой объем не позволяет загрузить все значения в оперативную память. Поэтому при отображении приходится их считывать с диска. Для оптимизации скорости визуализации сейсмограмм используются специальные приемы.

1. При загрузке сейсмического файла считываются только координаты источников и приемников для каждой трассы.

2. При отображении расстановки источников и приемников на поверхности, формируется множество источников (используется стандартный объект `stl::set`) и массив текущих приемников. При повторном отображении экономится время на перебор всех трасс и используются готовые массивы источников/приемников.

3. Возможен режим визуализации, при котором на поверхности показаны только источники. Приемники не показаны, но область, в которой они расположены заливается серым прямоугольником. Такой режим отображения экономит время для отображения детальных 3D-моделей с малым шагом решетки.

4. Для трасс можно указать степень «качества» отображения. При низком качестве часть плотно расположенных трасс не отображается. В результате возможны небольшие потери детализации и существенное ускорение.

5. При отображении горизонтальных сечений на поверхности наибольшие временные затраты требуются на формирование самого сечения. Для этого в общем случае приходится считывать данные по всем трассам в сейсмическом файле.

На рис.1 показан вид объекта «Сеймика» с загруженной сейсмограммой.

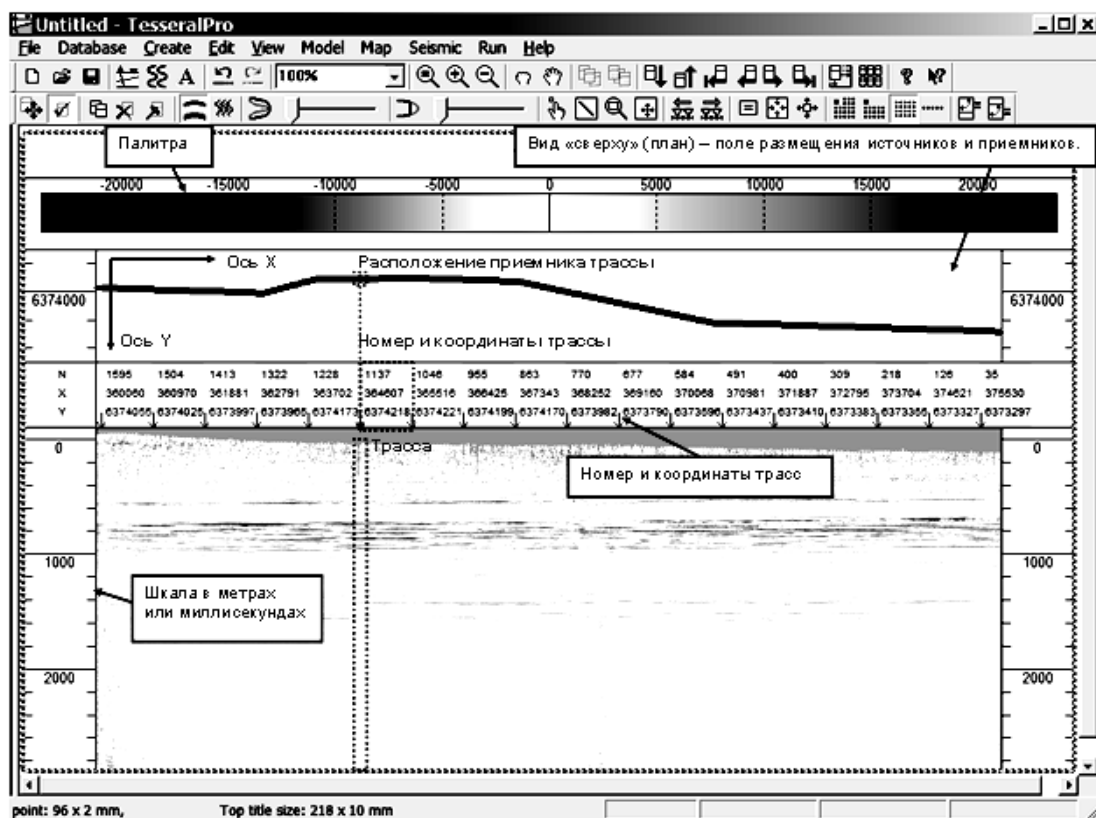


Рис. 1. Объект «Сеймика» в пакете Tesseract Pro

Вверху объекта расположен заголовок, ниже – цветовая палитра для значений в трассах, система наблюдения (оси X–Y, вид сверху), шкала трасс, вертикальный разрез (оси X–Z). Слева и справа от изображения расположены шкалы глубин. При движении мыши в области разрезов (вертикального и горизонтального) в строке статуса отображаются координаты, соответствующие курсору, и значение в трассе для данной точки, оно известно (рис. 2).

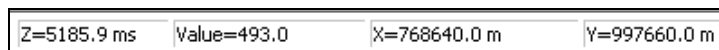


Рис. 2. Значения в строке статуса

## Управление параметрами отображения системы наблюдения

Управление большинством функций визуализации осуществляется с помощью свойств объекта. Свойства разделены по вкладкам. Во вкладке «Track» устанавливаются общие свойства визуализации объекта, в «Plane» – параметры визуализации поверхности наблюдения (рис. 3). Пакет Tesseract Pro использует двумерное изображение, основанное на цветовой палитре как один из возможных способов представления сейсмических данных. В состав пакета входит 10 стандартных палитр (сине-бело-красная, радужная, черно-белая и т.п.). Также пользователь может создать произвольную палитру.

Загрузить сейсмограммы в объект «Сеймика» можно, нажав на кнопку «Add» во вкладке «Track» свойств объекта. Допускается загрузка нескольких файлов. При этом подразумевается, что все источники и приемники находятся в одной системе координат. Если это не так, то возможно скорректировать (временно) координаты отдельных сейсмических файлов линейным преобразованием, устанавливаемым с помощью настроек в кнопке

«Properties». Кнопка «Update» позволяет обновить основные параметры выбранных файлов, пересчитав их из диска. Эта же кнопка отменяет все сделанные до этого линейные преобразования над координатами источников и приемников.

В группе «Interval» можно указать интервал глубин, в котором отображаются трассы сейсмограммы. Кнопка «Auto» позволяет автоматически рассчитать этот интервал по данным из открытых сейсмограмм. Также можно указать масштаб глубин к печатной поверхности изображения. Этот масштаб меняется автоматически, если менять размеры объекта вручную.

Во вкладке «Plane» можно установить параметры визуализации системы наблюдения. В комбобоксе «View Mode» можно выбрать режим отображения системы наблюдения. Подробнее об этих режимах описано далее. Так же в этой вкладке можно задать параметры профиля (вертикального разреза), направление осей координат, способ визуализации источников/приемников (рис. 3).

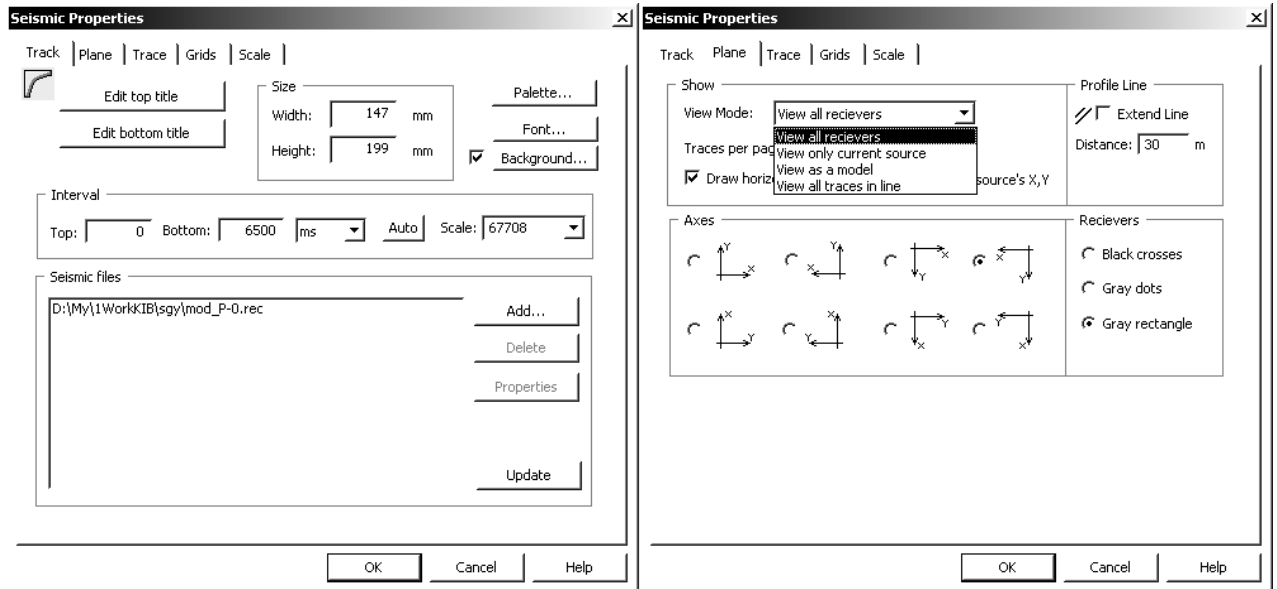


Рис. 3. Параметры визуализации расстановки

Для разных сейсмических файлов количество приемников может варьироваться от сотен до миллионов, поэтому существует несколько способов отображения приемников: множеством черных крестиков (для небольших сейсмограмм), множеством серых точек (для средних сейсмограмм и растровых кубов), черным прямоугольником (для огромных сейсмических файлов).

### Управление параметрами отображения трасс

Вкладка «Trace» позволяет настраивать отображение трасс на вертикальном разрезе. В группе «Show» можно указать, выводить ли кривые сейсмограмм и выводить ли картинку значений, посчитанных по цветовой палитре. По умолчанию нулевые значения в сейсмограмме показываются серым цветом. Это свойство можно отменить выбрав пункт «Null as Grey». Параметр «Fill Quality» определяет компромисс между качеством отображения и скоростью (рис. 4).

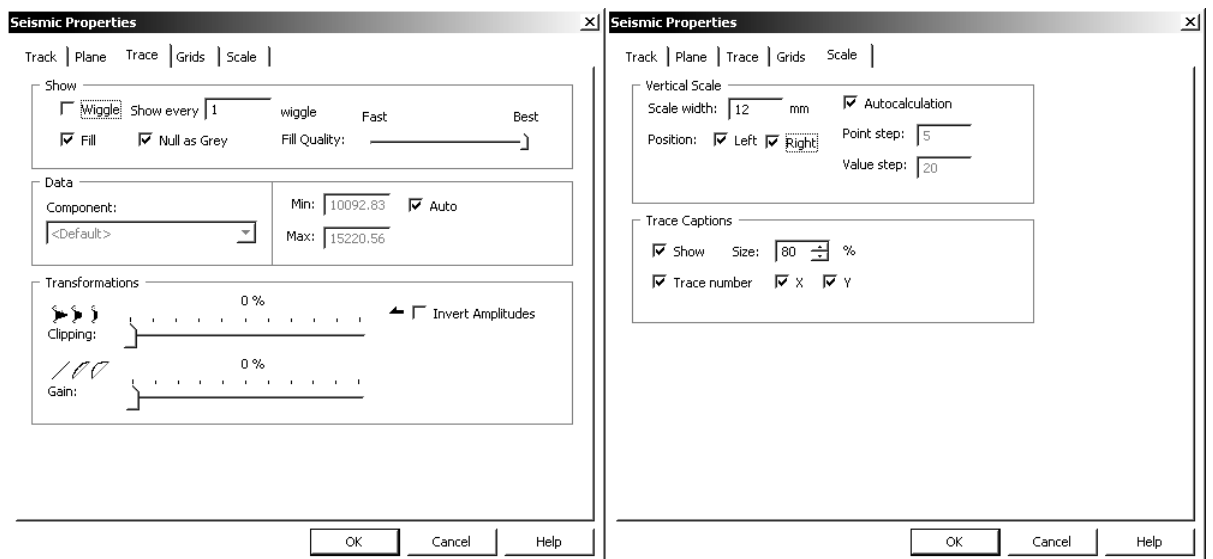


Рис. 4. Параметры визуализации трасс и пространственно-временных шкал

В группе «Data» для многокомпонентной сейсмологии возможен выбор текущего отображаемого компонента. Также здесь можно указать минимальное и максимальное значение для цветовой палитры, либо позволить программе посчитать эти значения автоматически (для каждого вертикального разреза или для всех файлов целиком).

Во вкладке «Scale» можно установить параметры отображения шкалы глубин и подписей к трассам. «Scale Width» указывает ширину шкалы глубин в документе (в мм). По умолчанию шкалы глубин показаны слева и справа от объекта, но возможно выбрать, какую из них показывать, а какую – нет. По умолчанию расчет шага деления в шкалах глубин автоматический, но отменив пункт «Autocalculation» можно вручную выставить значения шага.

### Режимы просмотра и взаимодействия

Поскольку в форме сейсмического представления в общем случае могут быть выражены разные данные, в объекте «Сейсмика» существует четыре режима просмотра поверхности наблюдения (таблица). Первый режим (просмотр всех источников и всех приемников) позволяет оценить содержание сейсмического файла, используется для небольших систем наблюдения. Если же система наблюдения состоит из сотен источников, и для каждого источника используются сотни приемников, то удобно выбрать режим отображения только тех приемников, которые относятся к текущему источнику. Для случаев, когда в сейсмическом формате заложена информация о растровом кубе, информация об источниках является лишней. В третьем режиме можно просматривать сейсмические данные игнорируя координаты источников. Этот режим удобен для просмотра растровых скоростных моделей и многокомпонентных кубов (формат TGR). Четвертый режим позволяет просматривать сейсмику, игнорируя все параметры трасс кроме номера.

При работе с объектом «Сейсмика» используются четыре режима взаимодействия: выбор текущего источника, рисование профиля, масштабирование и перемещение (таблица).

Таблица. Управляющие кнопки объекта «Сейсмика»

Управляющие кнопки	Действие
	Выбор режима просмотра системы наблюдения. Слева направо: показывать приемники всех источников, приемники только текущего источника, модель, все трассы в одну линию
	Масштабирование данных внутри объекта. Слева направо: 100% масштаб, увеличить масштаб, уменьшить масштаб
	Выбор режима редактирования. Слева направо: выбор текущего источника, проведение профиля, масштабирование, перемещение.
	Эти кнопки меняют смысл в зависимости от выбранного режима отображения и редактирования. Если выбран текущий источник, то кнопки позволяют перейти к следующему/предыдущему источнику. Если проведен горизонтальный профиль на расстановке, кнопки позволяют передвинуть этот профиль по горизонтали на 1 шаг вперед/назад
	Эти слайдеры позволяют настраивать уровень усиления сигнала

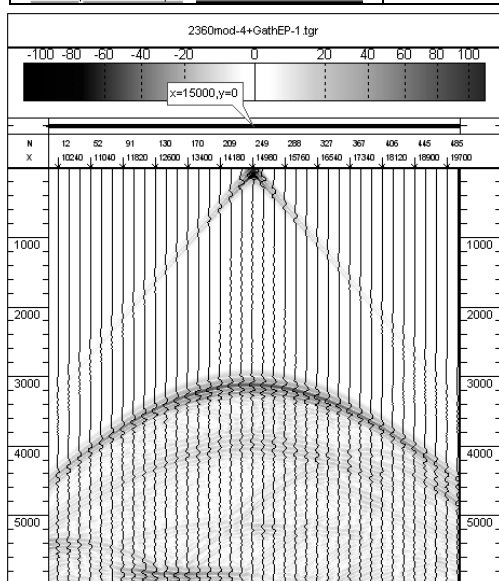


Рис. 7. Визуализация сейсмограммы

с режимом просмотра. Под поверхностью наблюдения расположен вертикальный разрез. Трассы на этом разрезе изображены в виде рисунка, построенного по цветовой палитре, а так же в виде кривых. В свойствах объекта «Сейсмика» можно установить режим визуализации и качество изображения. Если трасс в разрезе

Первый режим позволяет выбрать текущий источник, в результате на поверхности наблюдения этот источник отмечается красным цветом, а во всплывающем окне показаны его координаты (рис. 6). Режим рисования профиля позволяет выбрать вертикальное сечение на основе профиля в виде отрезка. При этом приемник попадает в разрез только в том случае, когда он расположен от линии профиля на расстоянии, не превышающем указанное в настройках. Подробнее о профилях и разрезах описано далее. В режиме масштабирования и перемещения возможно приближать и перемещать как поверхность наблюдения, так и вертикальный разрез. Эти два вида связаны по координате X для горизонтального ( $Y = const$ ) профиля и более сложной зависимостью для произвольного профиля.

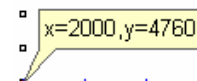


Рис. 6. Текущий источник

### Просмотр 3D-сейсмограмм

При просмотре сейсмических данных на поверхности наблюдения отображаются источники и приемники в соответствии

очень много, то изображение их кривых может затруднить восприятие, поэтому можно настроить объект так, чтобы отображались не все трассы, а только каждые  $N$ -трасс (рис. 7).

### Просмотр 3D-моделей и мигрированных кубов

Просматривать трехмерные растровые кубы в объекте «Сейсмика» возможно, формируя горизонтальные и вертикальные разрезы по произвольному профилю. Поскольку такие кубы представлены в формате сейсмических данных, содержание куба представлено в виде трасс. При этом для описания координат  $X$  и  $Y$  используются координаты приемника трассы, а координата  $Z$  определяется исходя из отсчетов самой трассы. Координаты источника в общем случае игнорируются, но для обеспечения совместимости с просмотрщиками сейсмике удобно либо полагать координаты источников равными координатам приемников, либо (как сделано в Tesseract Pro) для приемников с  $Y=const$  создавать один источник, у которого координата  $X$  будет равна минимальной координате  $X$  приемников (рис. 8).

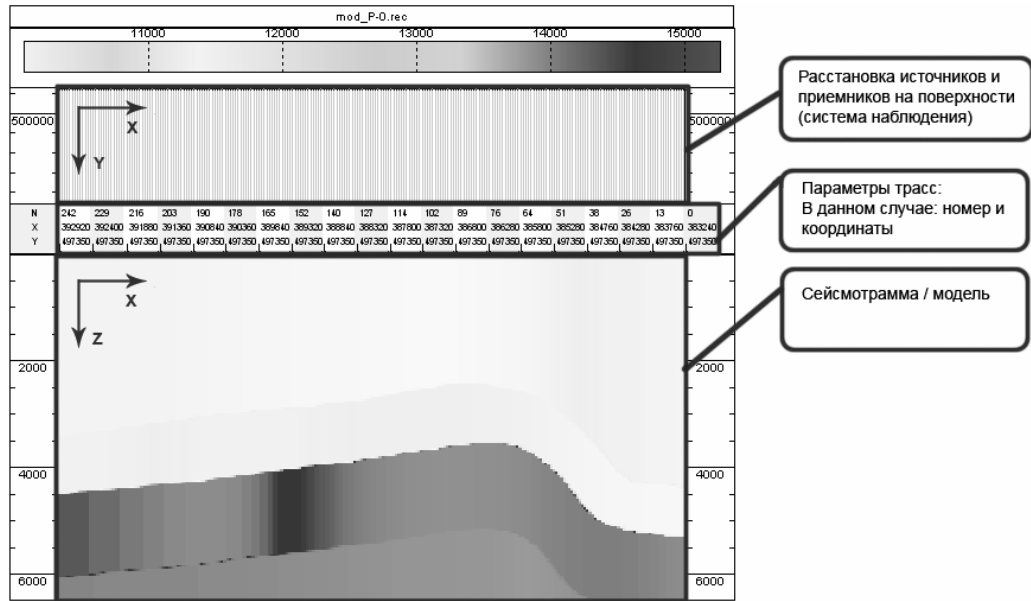


Рис. 8. Визуализация 3D-модели. Система наблюдения и трассы

Для построения вертикального разреза нужно выбрать режим рисования профиля и провести мышью отрезок на поверхности наблюдения. В результате в области отображения трасс будет показан горизонтальный разрез. В этот разрез попадут только те трассы, координаты которых находятся на определенном в свойствах объекта расстоянии от линии профиля. Слишком большое расстояние ( $distance$ ) может привести к тому, что будут отображены трассы вне линии профиля. Слишком маленький размер профиля может привести к тому, что некоторые нужные трассы не попадут в разрез (рис. 9).

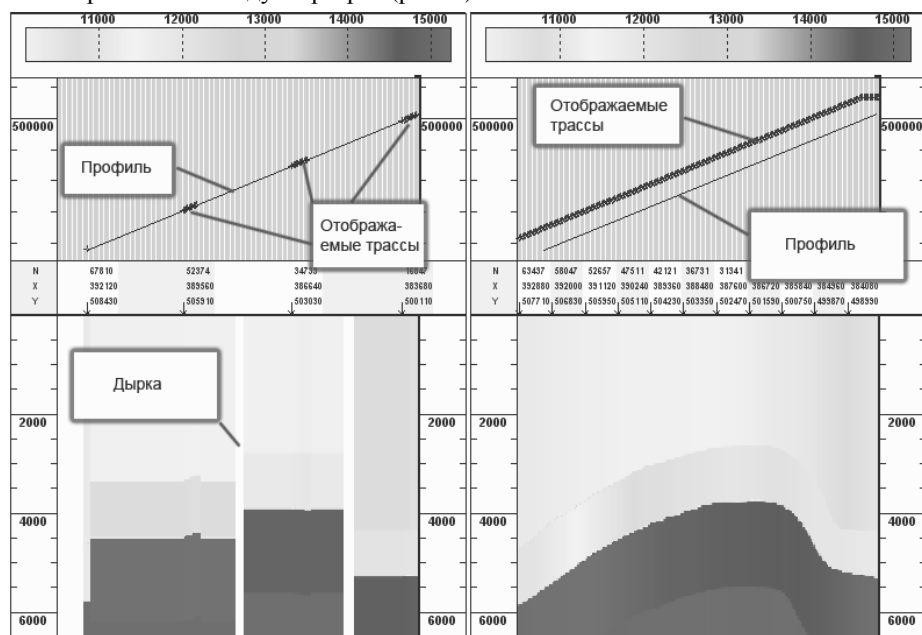


Рис. 9. Настройка расстояния от профиля к ближайшей трассе

## Отображение горизонтальных сечений

В Tesserat Pro реализован необычный для программ просмотра сейсмограмм режим отображения горизонтальных разрезов. Этот режим полезен при визуализации 2D-разрезов растровых 3D-кубов (рис. 10):

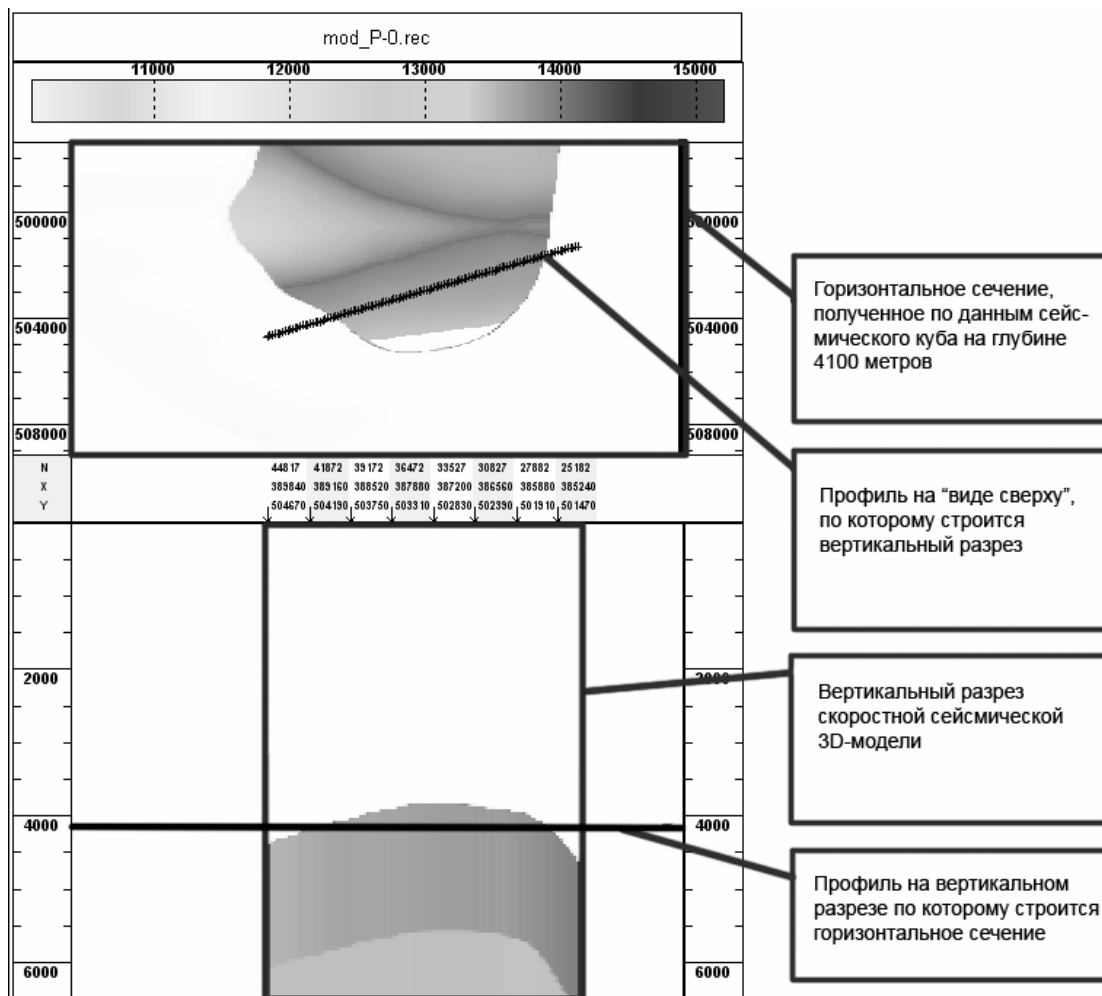


Рис. 10. Отображение горизонтального сечения

На рис. 10 показан горизонтальный (сверху) и вертикальный (снизу) разрезы растровой трехмерной скоростной модели. На этих разрезах показаны профили, по которым они построены. Профиль на горизонтальном разрезе создает вертикальный разрез и наоборот.

## Заключение

Сейсмические данные разнообразны как по содержанию, так и по объему, в результате оптимизация отображения как по скорости, так и по удобству восприятия зависит от большого количества параметров, подбор некоторых из которых не удастся автоматически рассчитать. В пакете Tesserat Pro реализованы дополнительные технологии для работы со сверх большими файлами (размером в десятки Гбайт): индексирование, кэширование, буферизация, частичное отображение, пренебрежение качеством ради скорости. Для удобства восприятия и интерпретации данных реализованы: полностью настраиваемая цветовая палитра, масштабирование/перемещение разрезов, поворот осей координат, формирование вертикальных и горизонтальных разрезов по профилю. Для обеспечения поддержки разнообразных вариантов форм представления сейсмических данных реализовано четыре режима просмотра, возможность линейно преобразовывать координаты источников и приемников, возможность просматривать трассы, игнорировать другую информацию.

1. Sheriff R.E., Geldrat L.P. Exploration Seismology. 2 edition. – Cambridge Univers. Press, 1995. – 592 p.
2. Корягин В.В. Стратиграфическая интерпретация данных сейсморазведки на основе итеративного моделирования // Геофизика. – 1999. – № 4. – С. 15–20.
3. Kostyukevich A.S., Starostenko V.I. and Stephenson R.A. The full-wave images of the models of the deep lithosphere structures constructed according to DSS and CDP data interpretation. – Геофизический журнал. – 2000. – Т. 22, № 4. – P. 96–98.
4. Link B., Marmalevsky N. Duplex Wave Migration – Imaging Vertical Boundaries. Proceedings of CSEG'2006, Calgary, Alberta, Canada, 2006. – P. 380–381.