

# Система интерпретационной обработки сейсмических 2D/3D/3C данных Prime (Прайм)

**О.А. Силаенков**  
главный геофизик<sup>1</sup>  
[o.silaenkov@yandex-terra.ru](mailto:o.silaenkov@yandex-terra.ru)

**И.К. Кузнецов**  
директор департамента интерпретационной обработки сейсмических данных<sup>1</sup>  
[i.kouznetsov@yandex-terra.ru](mailto:i.kouznetsov@yandex-terra.ru)

**С.Л. Лангман**  
к.ф.-м.н., ведущий математик<sup>1</sup>  
[s.langman@yandex-terra.ru](mailto:s.langman@yandex-terra.ru)

**Д.Е. Мосяков**  
генеральный директор<sup>1</sup>  
[d.mosyakov@yandex-terra.ru](mailto:d.mosyakov@yandex-terra.ru)

**Д.Б. Фиников**  
к.т.н., директор департамента разработки алгоритмического и программного обеспечения<sup>1</sup>  
[d.finikov@yandex-terra.ru](mailto:d.finikov@yandex-terra.ru)

<sup>1</sup>ООО «Сейсмостек» (Яндекс.Терра), Москва, Россия

**В работе описывается система интерпретационной обработки Prime. Описываются концепция, архитектура, возможности системы, ее отличительные особенности и преимущества. Приводятся примеры обработки, инструментарий системы и опыт ее использования в самых различных регионах для решения широкого спектра задач в разнообразных сейсмогеологических условиях. Намечены перспективы развития.**

## Материалы и методы

В работе описан программно-аппаратурный комплекс, реализованный на современных распределенных вычислительных ресурсах.

## Ключевые слова

система обработки сейсмических данных, глубинно-скоростная модель, прямые и обратные задачи, глубинная миграция, учет ВЧР, кратные волны

Автор концепции системы интерпретационной обработки сейсмических данных Prime, доктор физико-математических наук В.М. Глоговский (1936–2008), разработал прикладную теорию решения обратной кинематической задачи, а именно построение глубинно-скоростной модели среды, добавив проверку её допустимости и непротиворечивости. В.М. Глоговский осуществил на практике интерактивный подход и оперативный учёт априорной информации, позволяющие принять геологически осмысленное решение непосредственно в ходе обработки.

Решение обратной кинематической задачи было реализовано в виде интерактивной системы, включавшей в себя несколько взаимосвязанных программ, и казалась вполне самостоятельным продуктом. Планировалось, что обработанные в некоторой другой системе данные будут поступать на вход этих программ, а результатом ее работы будет построенная пластовая модель среды и соответствующее ей изображение. Предполагалось, что построенная модель будет использована в дальнейшей обработке, а полученное изображение будет использовано интерпретаторами. Отчасти такой проект был реализован, но довольно быстро выяснилось, что построение модели практически невозможно отделить от других процедур обработки, так как по мере уточнения модели нужно возвращаться к предшествующим этапам, и вся обработка должна строиться вокруг финальной задачи. Да и окончательное изображение нужно строить с учетом современных требований к динамике, иначе и построенная пластовая модель не вызывает доверия, несмотря на выполнение всех формальных критериев. Необходимость обработки данных 3D сейсморазведки сделала окончательно необходимым создание полноценной обрабатывающей системы.

Однако ее архитектура и идеология по-прежнему определялась нацеленностью на построение непротиворечивой пластовой модели среды и ее глубинного изображения. Здесь очень важно отметить, что развитые В.М. Глоговским и С.Л. Лангманом способы решения обратной кинематической задачи отличались высокой вычислительной эффективностью, наглядностью и доказательностью (т.е. позволяли быстро верифицировать результаты), а это позволяло, в свою очередь, наладить глубоко интерактивный процесс обработки, выстроенный вокруг этого ядра.

Работа над созданием системы велась сравнительно небольшим коллективом, что обусловило отбор только самых необходимых средств обработки, которые во многом были авторскими. Однако эти средства обрели многофункциональностью, позволяющей решать весь спектр

задач практической обработки сейсмических данных. Со временем удалось дополнить набор программ до полнофункционального современного обрабатывающего пакета, сохранив при этом ряд оригинальных решений, не говоря уж о концепции системы в целом.

Одним из важных преимуществ системы является то, что она аккумулирует в себе многолетний опыт разработки программного обеспечения в сочетании с производственной деятельностью в области применения этих программных средств. Система разрабатывается и дополняется в процессе производственной деятельности коллектива, непосредственно связанного с обработкой сейсмических данных, полученных в самых разнообразных сейсмогеологических условиях. Система растет по мере выполнения новых проектов и дополняется при возникновении новых практических задач. На данный момент система превратилась в полнофункциональный пакет для обработки сейсмических данных, включающий в себя более 400 интерактивных инструментов.

Это сочетание передовой теории с практикой, ориентированное на последние разработки в области аппаратных и технологических решений, в процессе многолетней работы с требовательными иностранными коллегами и ведущими профильными академическими учреждениями России способствовало интенсивному развитию полнофункциональной среды, уникальной по своей философии и алгоритмам — системы интерпретационной обработки сейсмических данных Prime.

## Программное обеспечение Prime (Прайм)

Prime позволяет обрабатывать 2D, 3D и 3C морские и наземные сейсмические данные в сложных сейсмогеологических условиях: при сложном рельефе дневной поверхности, наличии неоднородностей в верхней части разреза, в условиях соляно-купольной и сильно дислоцированной тектоники, в шельфовых и переходных зонах, при наличии большого количества интенсивных кратных волн и т.п.

## Отличительные особенности и преимущества

Система Prime уникальна благодаря технологии и алгоритмам, лежащим в ее основе. Технология Prime позволяет контролировать корректность и точность полученных результатов, привлекая априорную информацию и используя глубинные построения, начиная с самых ранних этапов обработки. Поэтому мы называем обработку в Prime интерпретационной обработкой. Набор процедур системы основан на специальных интерактивных алгоритмах, что делает промышленную обработку эффективной и технологичной, и в то же

время позволяет реализовать индивидуальный подход к работе с сейсмическими данными.

Большинство алгоритмов, составляющих содержание системы, являются авторскими разработками, однако они призваны решать те же задачи, которые тем или иным образом решаются во всех современных пакетах. Есть, однако, и решения, не имеющие аналогов, например: способы коррекции фазового спектра сигнала (рис. 1), нестационарная предсказывающая деконволюция (рис. 2), способ построения эффективной модели ВЧР с помощью кинематико-динамического преобразования (рис. 3), а также основанного на нем способа прослеживания и параметризации временных полей (рис. 4), и многое другое.

Важным направлением в развитии системы мы считаем динамическое моделирование волновых полей, которое доведено в системе до того уровня, что оно может использоваться в рутинной обработке не только для ее верификации, но и для компенсации искажений динамики (рис. 5).

### Концепция Prime (Прайм)

Доминантой обработки в Prime является алгоритм построения глубинно-скоростной модели среды, являющийся основой многих других процедур обработки, например миграции. Таким образом, правильность окончательных результатов обработки — глубинных динамических мигрированных разрезов (кубов), в значительной мере определяется правильностью глубинно-скоростной модели, в рамках которой выполнена миграция. Поэтому целый ряд процедур в системе призван обеспечить получение надежных данных для определения глубинно-скоростных параметров и контроля точности построенной модели.

Основным содержанием системы является глубинная, а не временная обработка, что позволяет использовать эффективные методы, которые могут быть реализованы только в рамках глубинно-скоростной модели (например, аппроксимация неоднородного слоя или погружение сейсмограмм).

Добавив в рассмотрение проверку допустимости и непротиворечивости глубинно-скоростной модели, В.М. Глоговский реализовал на практике интерактивный подход и учет априорной информации для структурных построений, позволяющий принятие решений непосредственно в ходе обработки.

Концепция Prime позволяет решать конкретную задачу с применением индивидуального эффективного графа обработки и оценивать точность ее решения.

Концепция непосредственно влияет и на архитектуру системы, и на ее интерфейс, и на способ хранения и представления данных. Так, по мнению многих пользователей, удачным является решение привязывать все параметры описывающие данные, параметры обработки и прочие к геологически осмысленным поверхностям во временной или глубинной областях, что позволяет вести согласованную по параметрам обработку по сетям профилей и площадным наблюдениям (рис. 6).

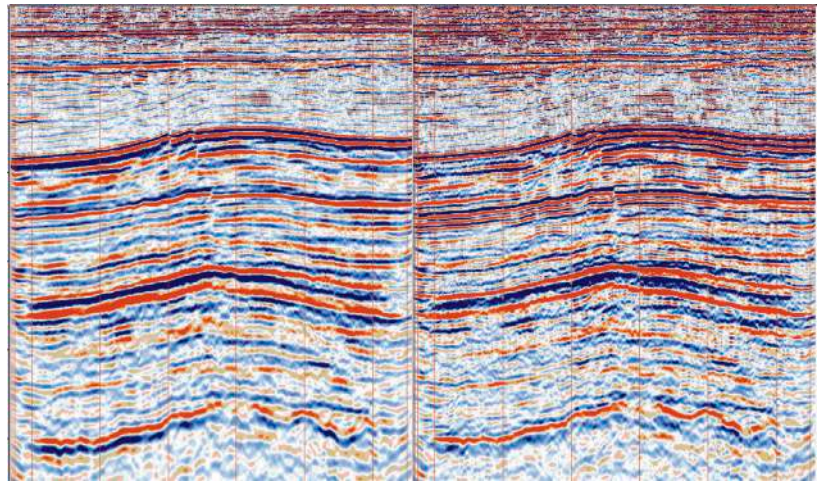


Рис. 1 — Глубинный мигрированные разрезы. Слева — до фазовой деконволюции, справа — после

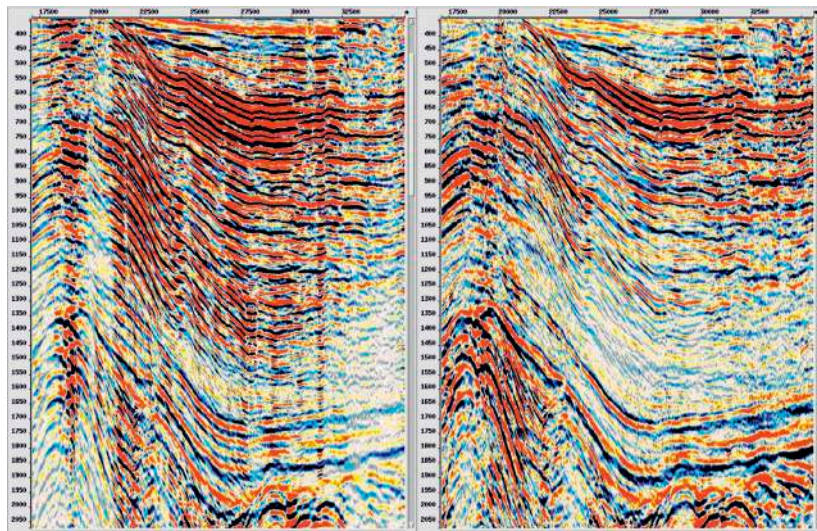


Рис. 2 — Пример подавления ревербераций средствами нестационарной фильтрации. Слева — исходный разрез, справа — результат после подавления

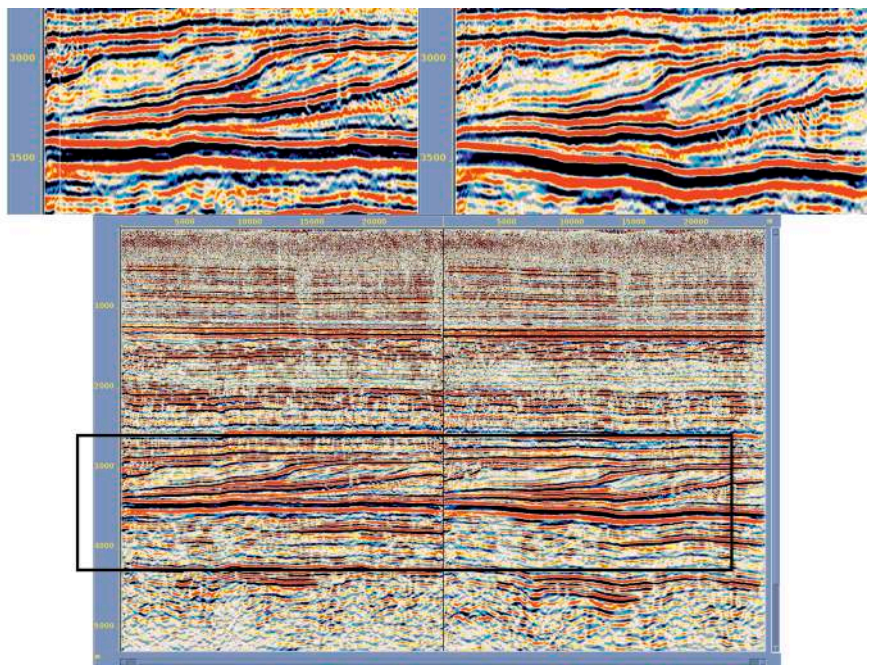


Рис. 3 — Пример учета ВЧР на глубинных разрезах, созданных в разных моделях слева — реконструкция слоя, справа — модель статики. Воспользовавшись методикой реконструкции глубинной границы, в рамках глубинно-скоростной модели, для тех же априорных данных (граница Г — гладкая) получим совершенно иное положение целевых границ. Качество прослеживания горизонтов на обоих разрезах удовлетворительное

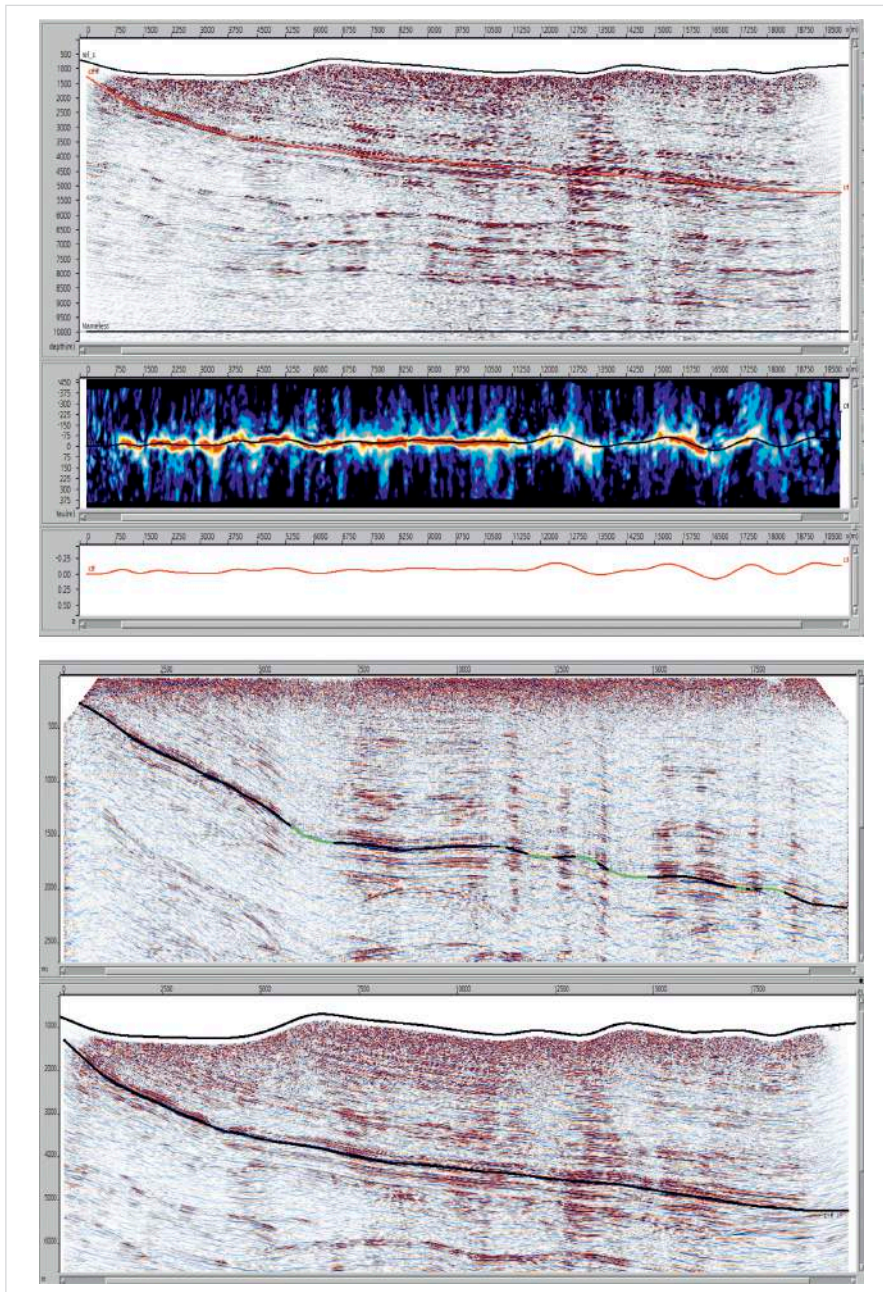


Рис. 4 — Способ прослеживания и параметризации временных полей на основе кинематико-динамического преобразования

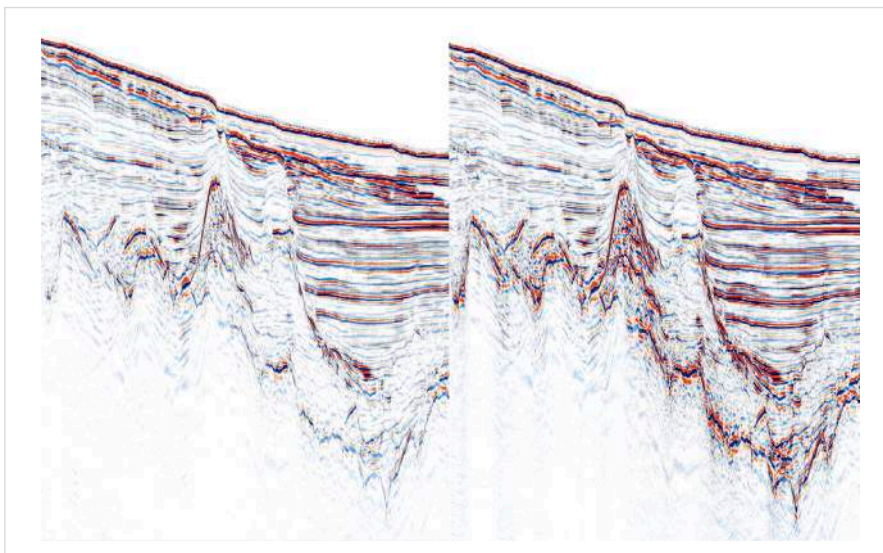


Рис. 5 — Восстановление амплитуд после глубинной миграции 3D-данных. Слева — до процедуры, справа — после восстановления амплитуд

### Прецизионность и точность

Прецизионность и точность обработки достигаются при помощи применения технологии построения глубинно-скоростной модели с контролем корректности структурных построений.

### Интерпретируемость

В рамках развитого интерактивного инструментария система позволяет очень быстро и эффективно решать обратную и прямую кинематические задачи с проверкой адекватности результата исходным данным, в геологически понятных терминах (глубина и интервальная скорость) оценивать геологическую осмысленность результата, проверять возможные геологические гипотезы на совместимость с результатами сейсмических наблюдений, непосредственно использовать априорную геологическую информацию на всех критических этапах обработки.

Таким образом, при плодотворном взаимодействии обработчика и геолога-интерпретатора, система позволяет получить на конечном этапе обработки геологически осмысленное, согласованное с априорными данными и видением интерпретатора изображение сейсмического разреза.

Временная обработка производится в терминах эффективных параметров, использование глубинной обработки позволяет установить связь между эффективными и геологическими параметрами.

Доказуемость и обоснованность результатов обработки на любом этапе

Лежащая в основе глубинно-скоростная модель подвергается проверке на допустимость и непротиворечивость. Для этого в программе рассчитывается специальный критерий адекватности модели априорным представлениям о среде. Таким образом, любой, основанный на этой модели, результат обработки, промежуточный или окончательный, становится обоснованным с точки зрения корректности применения алгоритма обработки, а значит и надежности результата.

### Интерактивность

Интерактивность — принципиально важная возможность системы, позволяющая наиболее эффективным образом в режиме реального времени описывать параметры волнового поля, подбирать значения параметров всех применяемых процедур и сразу непосредственно оценивать результат преобразования.

Программа содержит несколько интерактивных графических приложений, которые отвечают за различные задачи: построение скоростной модели, расчет миграций и сравнение результатов, тестирование параметров обработки, конструктор потоков обработки, работа с данными, которые отвечают за различные задачи: построение скоростной модели, расчет миграций и сравнение результатов, тестирование параметров обработки, конструктор потоков обработки, работа с данными в 3D объеме и т.д. Все приложения опираются на единую базу данных. Поэтому результат изменения объекта внутри одного приложения мгновенно виден в работе другого приложения. Не нужно выгружать и загружать данных,

тратить время на изменение форматов. Этим проблем нет, обработка происходит быстро.

### Технологичность

Организация системы позволяет в разумные сроки обрабатывать большие массивы 2D и 3D данных.

Особенностью технологии Prime при обработке системы пересекающихся 2D профилей на площади является одновременная (а не последовательная) обработка всех профилей с контролем и увязкой в точках пересечения всех результатов, начиная с первичной обработки (временных разрезов, корреляции линий to, горизонтальных спектров скоростей), и заканчивая интервальными скоростями, глубинными границами и динамическими глубинными мигрированными разрезами.

### Распараллеливание вычислений

Все чаще обработчики имеют дело с очень большими объемами данных. Поэтому для современной программы обработки принципиально важно обладать свойствами технологичности. То есть обработка должна с одной стороны оставаться качественной, а с другой стороны быть очень быстрой. Prime удовлетворяет этим требованиям благодаря тому, что вы можете настраивать параметры процедур быстро и просто для одного или нескольких показательных тестовых линий, сохранять в базу данных программы последовательности процедур со всеми параметрами, а затем применять обработку в поточном режиме ко всему объему данных. Кроме того,

программа позволяет использовать вычислительные мощности оптимальным образом. Поэтому все длительные по времени процедуры в Prime ускоряются в десятки раз.

### Функциональные возможности Prime (Прайм)

Prime — полная интерактивная система обработки, включающая все необходимые процедуры: от чтения данных до построения окончательного мигрированного изображения и вывода его на печать. Prime отвечает всем современным требованиям к программе обработки и содержит уникальные прогрессивные технологии, уже неоднократно опробованные на практике в рабочих проектах.

В целом функциональность пакета включает в себя:

- ввод данных. Присвоение геометрии. Работа с полями заголовков;
- контроль качества данных;
- использование горизонтов в обработке;
- работа во временной и глубинной областях;
- использование технологии 3D для обработки 2D;
- обработка сигнала, мьютинг, редакции сейсмограмм, коррекции амплитуд, фильтрации, деконволюции;
- скоростной анализ. Ввод кинематики. Кинематические фильтры;
- построение глубинно-скоростной модели среды;
- оценка достоверности структурных построений;
- решение прямой динамической задачи для разных типов волн;

- трансформации волновых полей;
- расчет и ввод статических поправок;
- учет криволинейного рельефа дневной поверхности, компенсация влияния ВЧР, реконструкция слоя;
- моделирование и вычитание регулярных помех (кратных волн);
- кинематические фильтры;
- миграционные преобразования;
- кинематико-динамическое преобразование для определения времени прихода отраженных волн;
- моделирование;
- интерпретационные инструменты;
- интерактивные вспомогательные инструменты, визуализация, 3D;
- инструменты для вывода данных.

### Опыт использования Prime

География применения Prime весьма широка — это районы с разнообразными и сложными геологическими структурами. Сейсмические данные специфичны, а волновые поля могут представлять собой сложные картины. В процессе работ с такими данными Prime нередко дополнялся специальными алгоритмами, которые разрабатывались для решения конкретных нестандартных задач опытными программистами с непосредственным участием геофизиков и геологов.

География опыта практического использования технологии Prime включает более 100 морских (Балтийское, Баренцево, Охотское, Каспийское, Чёрное, Азовское, Южно-Китайское и Норвежское моря, Мексиканский залив, Индийский океан) и наземных (Западная и Восточная

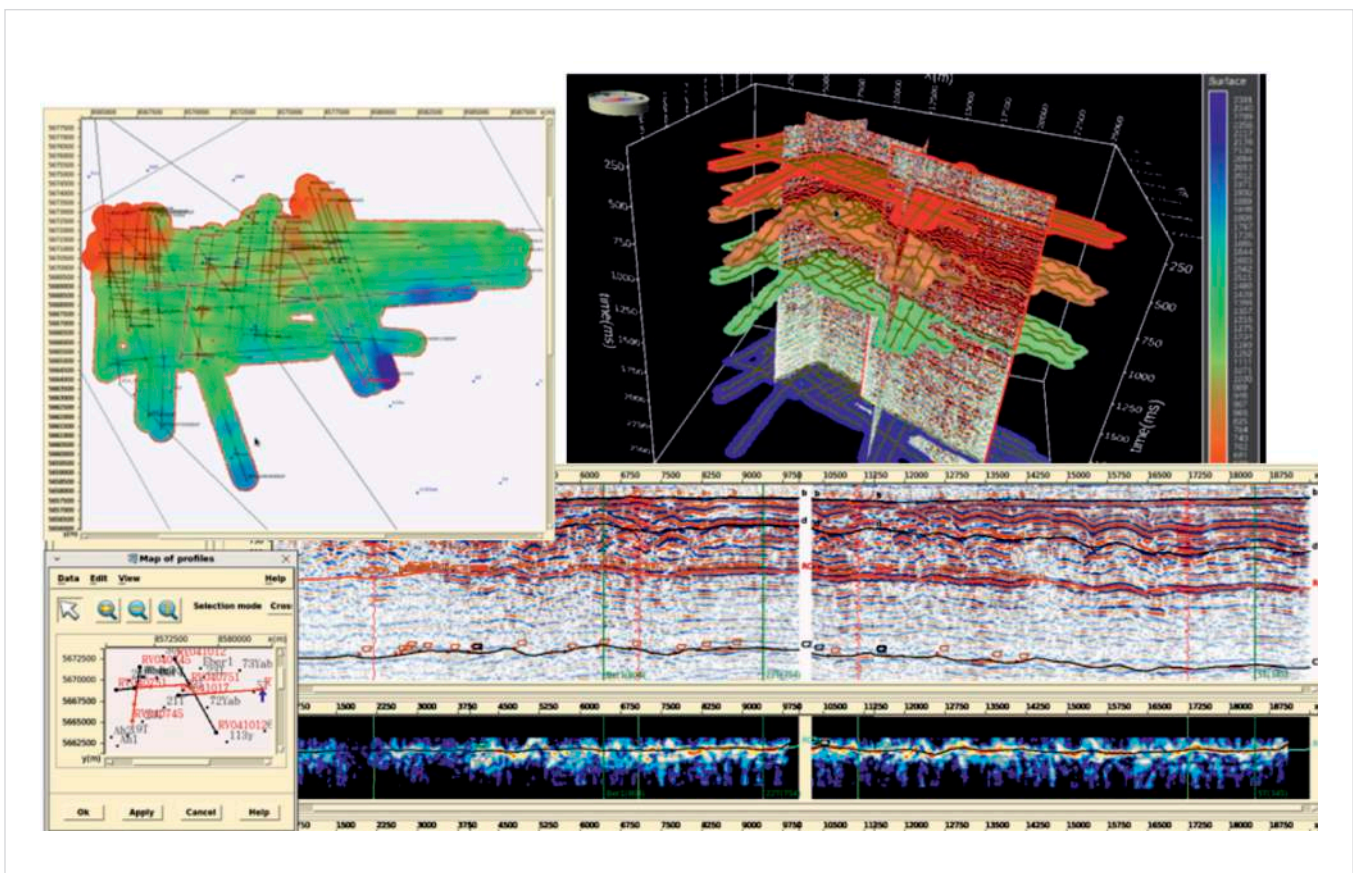


Рис. 6 — Скоростной анализ в Prime

Сибирь, Калмыкия, Поволжье, Казахстан, Китай, Саудовская Аравия и др.) реализованных проектов.

### Ресурсоёмкие вычисления в Prime (Прайм)

При разработке программного обеспечения используется опыт и технологии компании «Яндекс» по обработке и хранению больших массивов данных, а также, в перспективе — технологии машинного обучения. Одним из основных преимуществ пакета является возможность его использования на стандартном современном оборудовании Яндекса, что позволяет при необходимости подключаться к эффективному высокопроизводительному вычислительному ресурсу. Дата-центры расположены на территории РФ.

### Перспективы развития

Система Prime постоянно развивается. Кроме тех программ, которые входят в работающую и распространяемую версию системы, всегда существует немалый задел программ и алгоритмов, находящихся в разработке. Мы расширяем класс моделей сред, сохраняя при этом принципы верифицируемости результатов. Планируем

развиваться в направлении разработки процедур, все более приближающихся к интерпретационному этапу анализа данных. Поэтому нам особенно важно взаимодействовать с коллегами, занимающимися разработкой интерпретационных систем и непосредственно интерпретацией.

Важно также развитие системы в плане ее большей открытости, чтобы она могла аккумулировать в себе достижения ведущих отечественных разработчиков в области обработки и интерпретации геофизической информации. У нас есть опыт такого взаимодействия, но его, несомненно, нужно расширять.

### Итоги

Отечественная система Prime представляет собой полнофункциональную современную систему обработки 2D/3D/3C сейсмических данных.

### Выводы

Система Prime представляет собой полнофункциональную современную систему обработки сейсмических данных. Развитие системы связано с более тесной консолидацией с интерпретационными комплексами и другими отечественными разработками в

области материального обеспечения обработки и интерпретации геолого-геофизических данных.

### Список используемой литературы

1. Глоговский В.М. Прикладная теория определения скоростных и глубинных параметров среды по данным сейсморазведки МОВ. Автореферат диссертации на соискание уч.ст. доктора физ.-мат. наук. М.: 1989. 33 с.
2. Фиников Д.Б. Симметризирующие фильтры // Технологии сейсморазведки. 2007. № 1. С. 26–36.
3. Полубояринов М.А., Фиников Д.Б. Предсказывающая деконволюция в задаче коррекции нестационарных сейсмических записей // Технологии сейсморазведки. 2006. № 1. С. 24–32.
4. Давлетханов Р.Т., Лангман С.Л., Силаенков О.А. Кинематико-динамическое преобразование в задаче коррекции статических поправок. Тезисы докладов конференции «Новые геотехнологии для старых провинций». Тюмень: 2013.
5. Фиников Д.Б., Шалашников А.В. Трансформация волновых полей: миграция, погружение, моделирование. Тезисы докладов конференции «Новые геотехнологии для старых провинций». Тюмень: 2013.

ENGLISH

GEOPHYSICS

UDC 550.3

## Prime – a system for interpretative 2D/3D/3C seismic data processing

### Authors:

**Oleg A. Silaenkov** — chief geophysicist<sup>1</sup>; [o.silaenkov@yandex-terra.ru](mailto:o.silaenkov@yandex-terra.ru)

**Ivan I. Kuznetsov** — head of seismic data processing department<sup>1</sup>; [i.kuznetsov@yandex-terra.ru](mailto:i.kuznetsov@yandex-terra.ru)

**Sergey L. Langman** — ph.d, chief software developer<sup>1</sup>; [s.langman@yandex-terra.ru](mailto:s.langman@yandex-terra.ru)

**Dmitry E. Mosyakov** — general director<sup>1</sup>; [d.mosyakov@yandex-terra.ru](mailto:d.mosyakov@yandex-terra.ru)

**Dmitry B. Finikov** — ph.d, head of R&D Department<sup>1</sup>; [d.finikov@yandex-terra.ru](mailto:d.finikov@yandex-terra.ru)

<sup>1</sup>Seismotech Ltd (Yandex.Terra), Moscow, Russian Federation

### Abstract

The paper describes the system of interpretative processing Prime. The article contains the description of the concept, architecture, capabilities of the system, its features and benefits. There are examples of the processing system tools and experience of its usage in the variety of areas for different tasks in complicated seismological conditions. The further development steps are outlined.

### Materials and methods

The paper describes the hardware-software complex based on modern distributed computing resources.

### Results

Domestic Prime is a complete modern system for 2D/3D/3C seismic data processing.

### Conclusions

Prime system is a complete modern system for seismic data processing.

System development is associated with the greater consolidation with interpretation complexes and other domestic developments in the field of software for geological and geophysical data processing and interpretation.

### Keywords

system for seismic data processing, depth-velocity model, direct and inverse problems, depth migration, upper part heterogeneity, multiples

### References

1. Glogovskiy V.M. *Prikladnaya teoriya opredeleniya skorostnykh i glubinnnykh parametrov sredy po dannym seismorazvedki MOV* [Applied theory of velocity and depth parameters determination with the usage of reflection seismic acquisition data]. Author's abstract of doctoral thesis for the degree of Physical-Mat. Sciences, 1989, 33 p.
2. Finikov D.B. *Simmétrizuyushchie filtry* [Balancing filters]. Seismic Technology, 2007, issue 1, pp. 26–36.
3. Poluboyarinov M.A., Finikov D.B. *Predskazyvayushchaya dekonvolutsiya v zadache korrektsii nestatsionarnykh seismicheskikh zapisei* [Predictive deconvolution in the task of non-stationary seismic records correction]. Seismic Technology, 2006, issue 1, pp. 24–32.
4. Davletkhanov R.T., Langman S.L., Shilenkov O.A. *Kinematiko-dinamicheskoye preobrazovanie v zadache korrektsii staticheskikh popravok* [Kinematic-dynamic transformation in the task of static corrections]. Thesis from the conference "New geotechnology for the old provinces". Tyumen: 2013.
5. Finikov D.B., Shalashnikov A.V. *Transformatsiya volnovykh polei: migratsiya, pogrujenie, modelirovanie* [Transformation of wave fields: migration, datuming, simulation]. Thesis from the conference "New geotechnology for the old provinces". Tyumen: 2013.