

Программное обеспечение Prime (Прайм) – интерпретационная обработка данных сейсморазведки

- Анисимов Р.Г., Давлетханов Р.Т., Кунченко Д.С., Овчинников К.Р., ООО «Сейсмотек», г. Москва. Проект реализуется участником проекта «Сколково» при грантовой поддержке Фонда «Сколково».

О системе

Prime (Прайм) – полнофункциональное российское программное обеспечение для выполнения проектов по обработке сейсмических данных любого уровня сложности. Программный комплекс позволяет обрабатывать 2D/3D/4D/3C/4C морские и наземные сейсмические данные в сложных сейсмогеологических условиях: при сложном рельефе дневной поверхности, при 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.

В основу системы заложена серия принципиально новых авторских технологий, опережающих в развитии стандартные подходы, реализованные в известных иностранных аналогах. Успешность применения технологий Prime доказана более чем на 100 выполненных проектах, а полученные результаты обсуждались в многочисленных докладах и публикациях совместно с заказчиками работ. Сегодня технологиям Prime посвящено порядка 200 научных публикаций и докладов.

▼ Рис. 1. География проектов, выполненных с использованием ПО Prime.



Базовый функционал Prime

Более 20 лет развития и практического применения технологий Prime позволили вырастить систему для выполнения обработки, результаты которой не только конкурируют, а зачастую превосходят результаты работ, выполненных на зарубежных аналогах.

На сегодняшний день Prime представляет собой интеграцию более чем 400 эффективных интерактивных инструментов, 15 графических приложений и более 200 вычислительных модулей, что позволяет работать с данными от чтения до построения окончательного мигрированного изображения. Набор имеющихся инструментов соответствует всем современным требованиям технических заданий по обработке сейсмических данных. Базовый функционал пакета включает в себя следующие инструменты:

- Ввод данных (SEG-Y, SEG-D), присвоение геометрии, работа с полями заголовков.
- Контроль качества данных (QC).
- Подавление случайных помех во временной и частотной области.
- Коррекция амплитуд за сферическое расхождение и поглощение.
- Различные виды деконволюции: сжатия, амплитудная, сигнатурная, предсказывающая, нестационарная, фазовая, и т.д.
- FX-деконволюция.
- Скоростной анализ с использованием вертикальных и горизонтальных спектров скоростей.
- Кинематические фильтры: FK-фильтрация, веерные фильтры, высоко-разрешающее преобразование Радона (параболическое и гиперболическое).
- Подавление волн-спутников: методом кинематической и рекурсивной фильтрации.
- Подавление вторичных пульсаций

газового пузыря (Debubble)

- Работа с донными станциями. Разделение волн на падающие и восходящие (Up-down separation), PZ-суммирование.

- Поверхностно-согласованная коррекция амплитуд (SCAC) и поверхностно-согласованная деконволюция.

- Коррекция статических поправок по отраженным и преломленным волнам.

- Различные технологии регуляризации, в том числе с возможностью сохранения исходных трасс (Surface Related Illumination Density).

- Решение обратной кинематической задачи – построение глубинно-скоростной модели среды.

- Решение прямой кинематической задачи – оценка достоверности структурных построений.

- Учёт криволинейного рельефа дневной поверхности, компенсация влияния ВЧР, реконструкция слоя.

- Оценка и учёт VTI/HTI/TTI/STI параметров анизотропии. Томография.

- Трансформации волновых полей.

- Моделирование и вычитание регулярных помех (кратных волн).

- Миграционные преобразования. Получение офсетных/угловых/ дирекционных развёрток.

- Миграция данных, полученных с донными станциями, миграция кратных волн.

- Когерентная фильтрация.

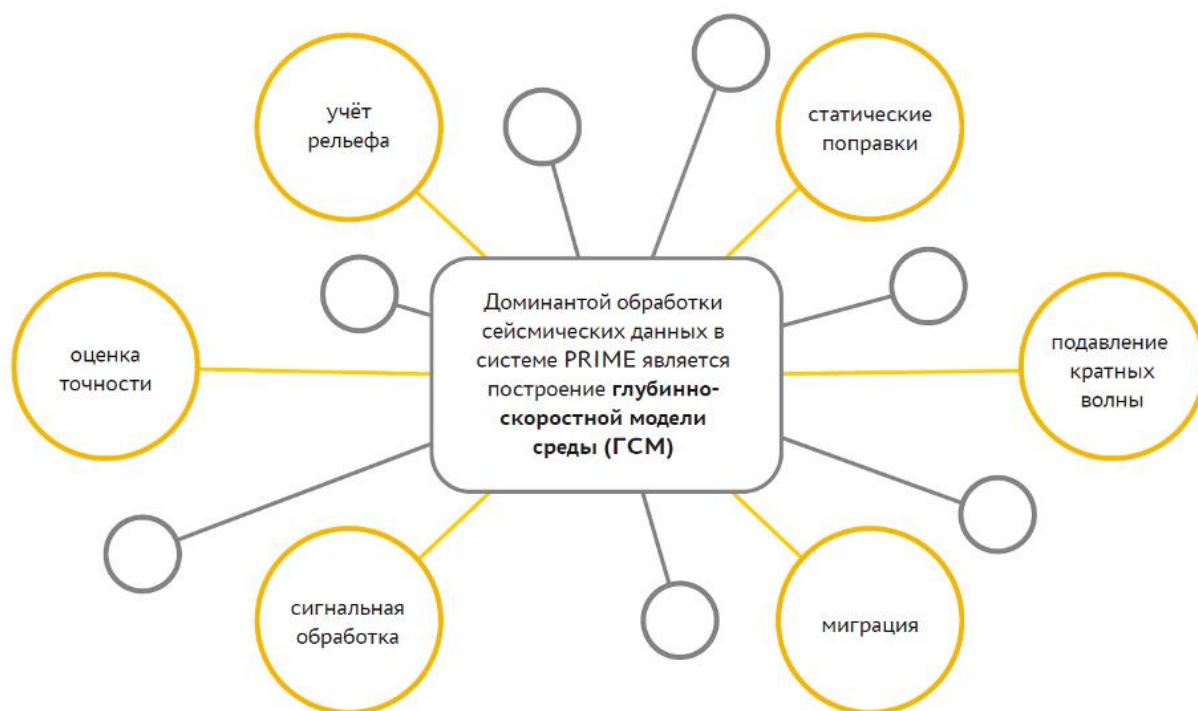
- Подавление следов расстановки (Defootprint).

- Моделирование волновых полей.

- Интерпретационные инструменты.

- Инструменты для вывода данных.

Важность наличия базового функционала в любой системе, безусловно, неосценима, ведь без него становится невозможной полноценная производственная деятельность, и Prime обладает всеми



▲ Рис. 2. Глубинно-скоростная модель, как центральный элемент системы обработки.

необходимыми инструментами. Главной ценностью программного комплекса являются его уникальные алгоритмы, которые отличают Prime от других систем обработки и обеспечивают его конкурентное преимущество. О таких преимуществах системы пойдет речь далее.

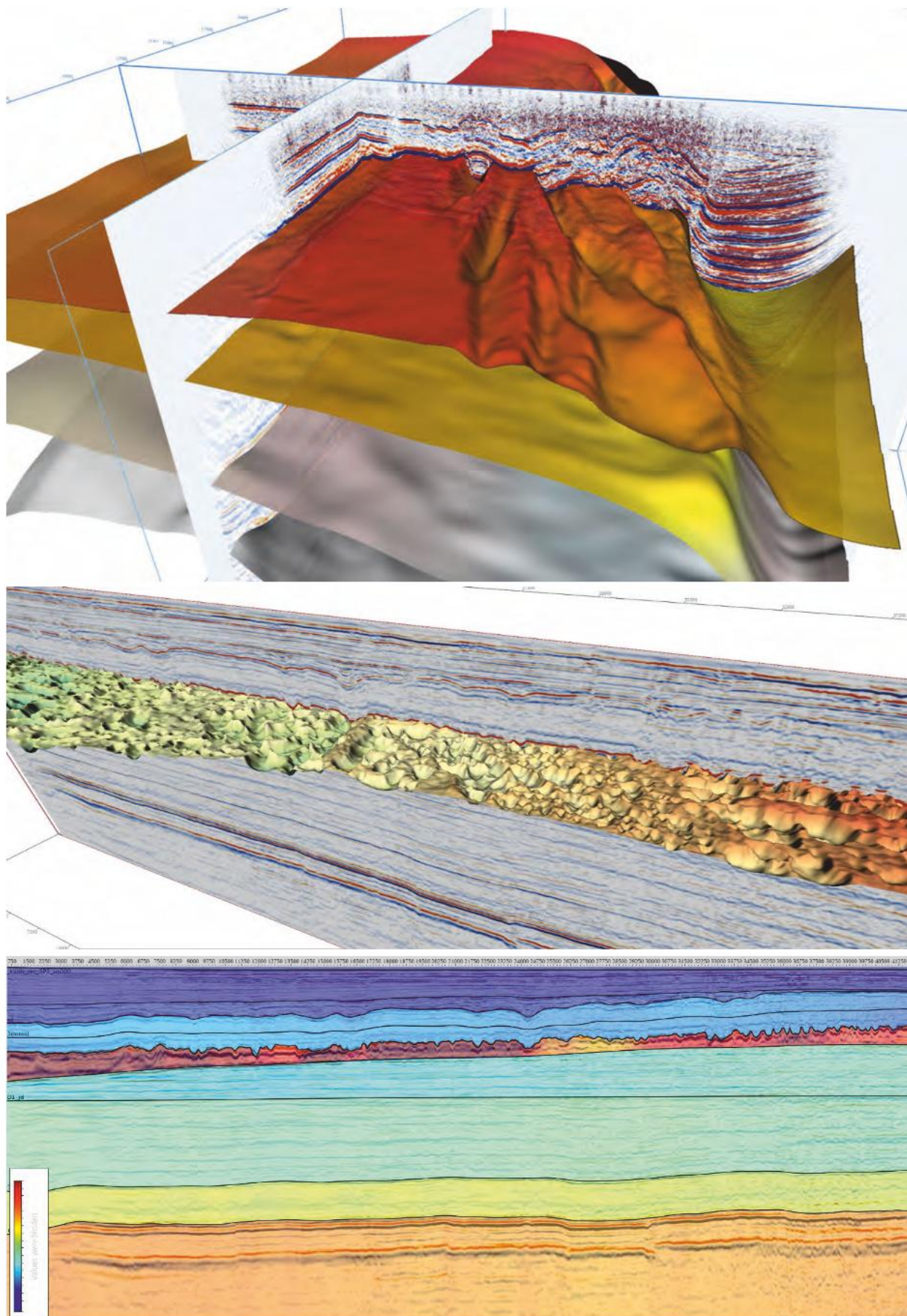
Концепция обработки в Prime

Доминантой обработки в Prime является построение глубинно-скоростной модели среды, являющейся основой многих других процедур обработки, например, миграции. Таким образом, правильность окончательных результатов обработки – глубинных динамических мигрированных разрезов (кубов), – в значительной мере определяется качеством построенной 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.

Концепция Prime позволяет решать конкретную задачу с применением индивидуального эффективного графа обработки и оценивать точность ее решения. Концепция непосредственно влияет на архитектуру системы, ее интерфейс, а также на способ хранения и представления данных. Так, по мнению пользователей, удачным является решение привязывать параметры, описывающие данные, и параметры обработки к геологически осмысленным поверхностям во временной или глубинной областях, что позволяет вести согласованную по параметрам обработку по сети профилей и площадным наблюдениям [1, 2].

Уникальные технологии

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



▲ Рис. 3. Примеры глубинно-скоростных моделей, построенных в Prime.

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 [3, 4],
- нестационарная предсказывающая деконволюция [5, 6],
- способ построения эффективной модели ВЧР с помощью кинематико-динамического преобразования [7], а также основанного на нем способа отслеживания и параметризации временных полей [8], и многое другое.

Многовариантная томография

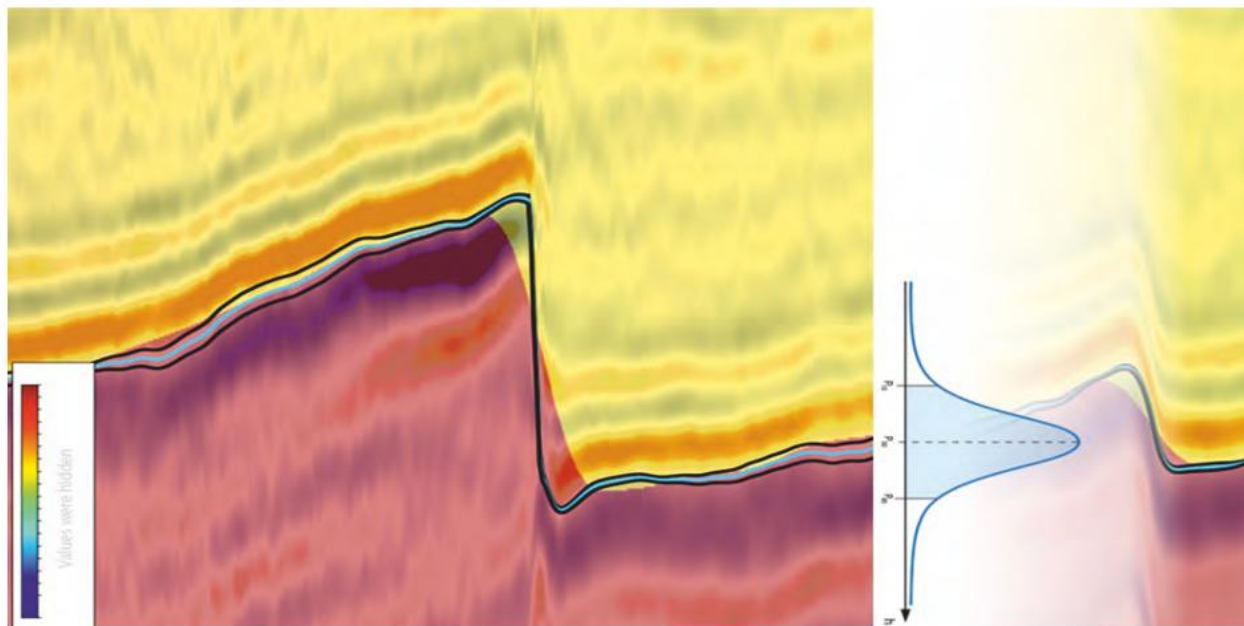
Анализ неопределённости структурных построений – крайне важная задача, решение которой необходимо для адекватной оценки рисков, связанных с оценкой запасов месторождения [9].

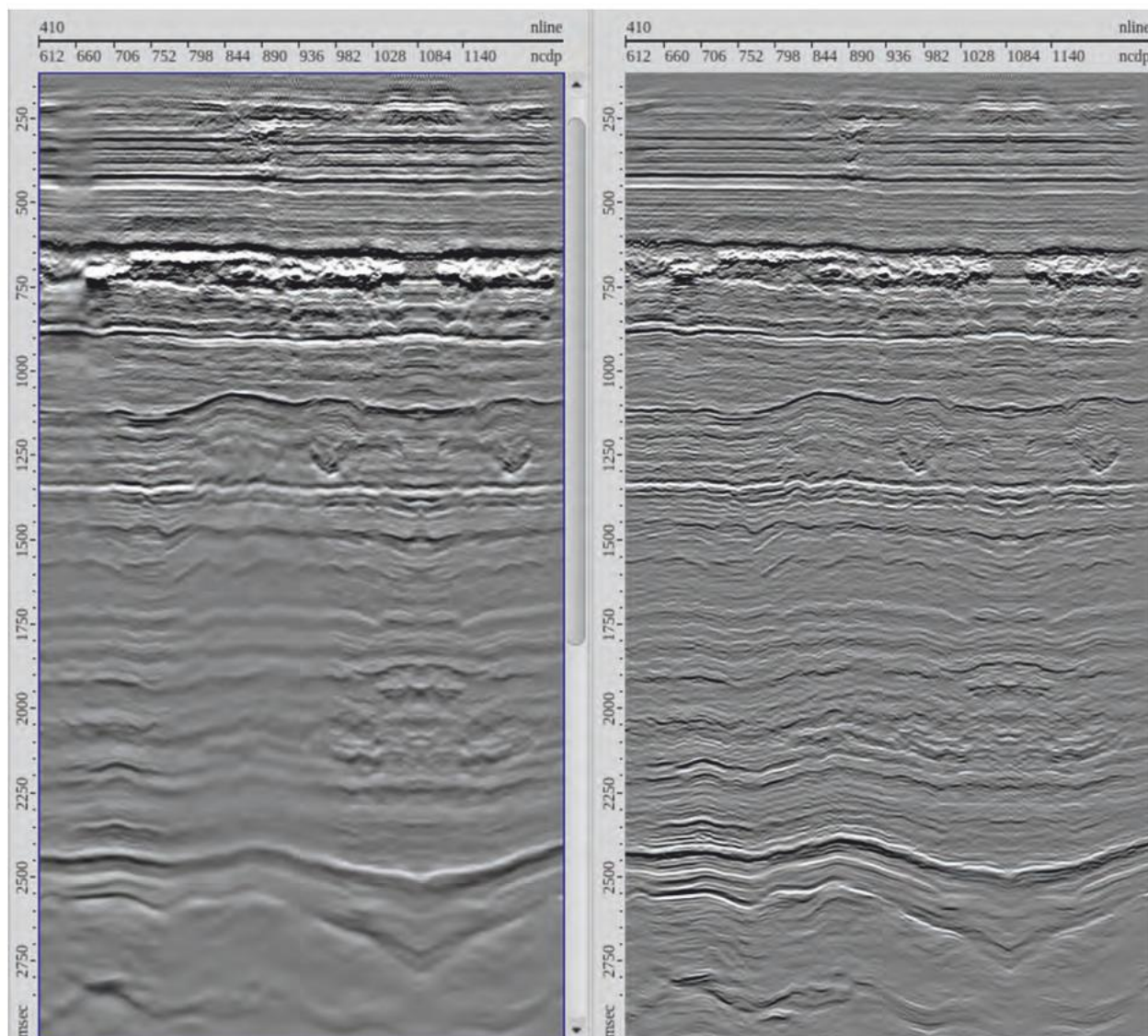
Существующие геостатистические подходы, применяемые на поздних этапах работ и использующие только скважинные отбивки и структурную поверхность после интерпретации сейсмических данных, имеют слабую связь с реальными данными, так как не учитывают качество исходного сейсмического материала.

По этой причине необходимо развитие и применение методов анализа неопределённости структурных построений на более раннем этапе, а именно непосредственно в процессе обработки, на этапе получения сейсмических кубов, при построении глубинно-скоростной модели среды.

Таким инструментом служит технология многовариантной сейсмической томографии.

- ▼ Рис. 4. Границы P10 и P90 показывают, что с вероятностью 10 процентов настоящая граница окажется выше положения 10-го перцентиля, и с вероятностью 90 процентов выше положения 90-го перцентиля.





▲ Рис. 5. Пример результата Q-томографии.

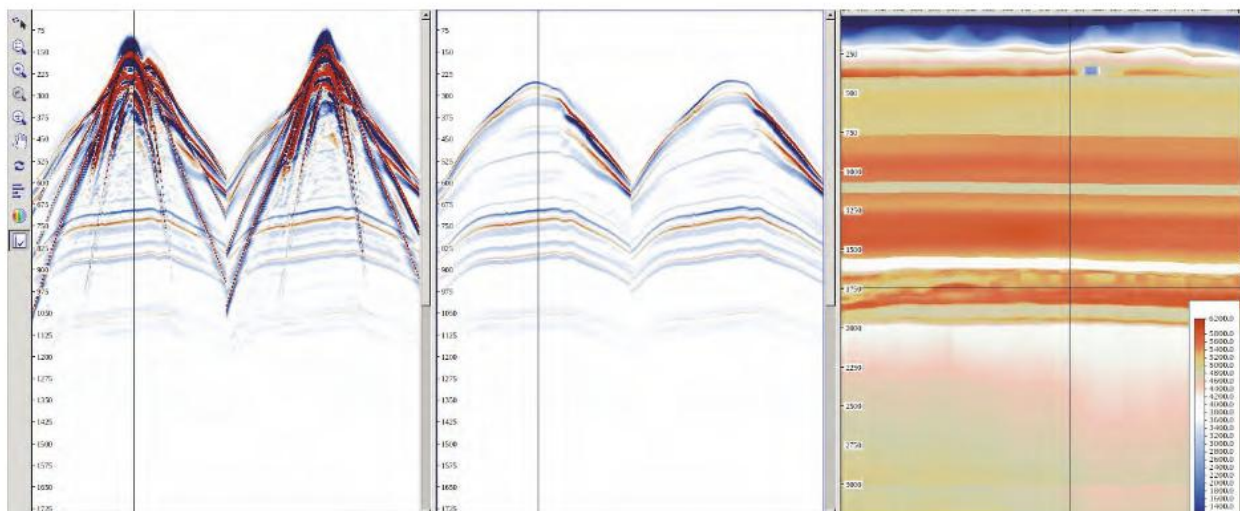
Q-томография

Задача определения параметров Q относится к некорректным, поэтому важно научиться использовать априорную информацию о возможном диапазоне изменения параметров поглощения в конкретных пластах. Способ определения параметров поглощения в пластах предполагает коррекцию поглощения в ходе миграции. В системе Prime реализован алгоритм послойной миграции с возможностью коррекции поглощения. Однако коррекция поглощения может приводить к фатальному росту помех и подбирать регуляризующие параметры в ходе миграции представляется крайне затруд-

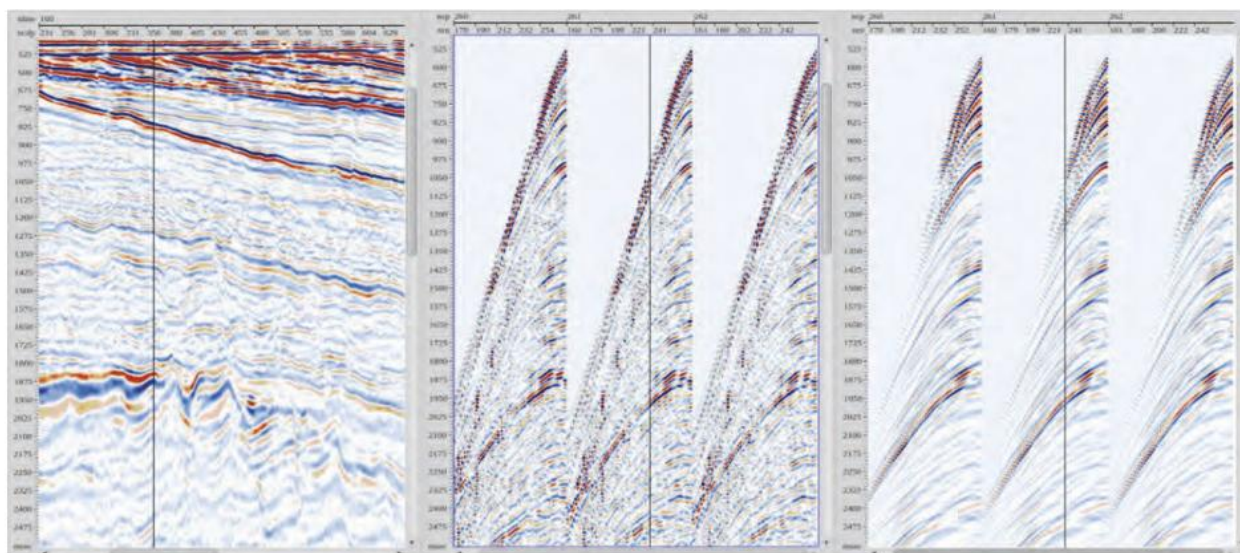
нительным. Поэтому предполагается использование атрибутной миграции для оценивания зависимости параметра Q от удаления. Это позволит корректно компенсировать эффект поглощения на сейсмограммах общей точки изображения после миграции. Кроме того, возможен более дорогостоящий способ коррекции поглощения на основе обращенного миграционного преобразования. Такой способ также реализован и опробован на модельных данных.

Моделирование волновых полей и его приложения

Инструменты моделирования широко



▲ Рис. 6. Пример полноволнового 3D моделирования для оценки эффективности процедур обработки/интерпретации. Слева – полноволновое модельное поле, в центре – полезные отражения, справа – фрагмент ГСМ.



▲ Рис. 7. Пример сравнения модельных и реальных сейсмограмм. Слева – глубинное изображение, в центре – реальные сейсмограммы, справа – модельные сейсмограммы (результат демиграции).

применяют для расчёта поля помех, главным образом, кратных волн. Мы полагаем, что моделирование полезных сигналов также имеет хорошие перспективы в обработке и интерпретации, например, для проверки возможностей обработки как с точки зрения структурных построений, так и с точки зрения сохранения динамики волнового поля. Моделирование необходимо привлекать не только в НИР, но и при выполнении «стандартных» производственных работ,

поскольку только в этом случае можно говорить о точности процедур обработки и интерпретации. Список приложений моделирования в обработке достаточно обширный [10]:

- Кинематическая фильтрация.
- Эталонирование.
- Оценка поглощения (Q).
- Машинное обучение (ML).
- Построение эталонов с целью автоматической коррекции статических поправок.

- Изучение полей рассеянных волн (Diffraction imaging).
- Подавление кратных волн.

Помимо лучевого моделирования, в Prime реализовано несколько алгоритмов, в основе которых лежит использование интегральных операторов Кирхгофа. При их использовании имеется возможность моделирования каждой волны по отдельности, что облегчает анализ полученного поля.

А что еще?

Prime Cloud

Программный комплекс Prime в конфигурации Prime Cloud адаптирован к выполнению расчётов на виртуальных ресурсах и позволяет воспользоваться всеми преимуществами облачных вычислений. Технологии распределённых вычислений, заложенные в ПО Prime, и возможности облачных вычислений позволяют выполнять расчёты с максимальной производительностью и значительно ускорить решение геологических задач, а благодаря защищённым каналам связи и изоляции виртуальных ресурсов обеспечивается полная конфиденциальность данных.

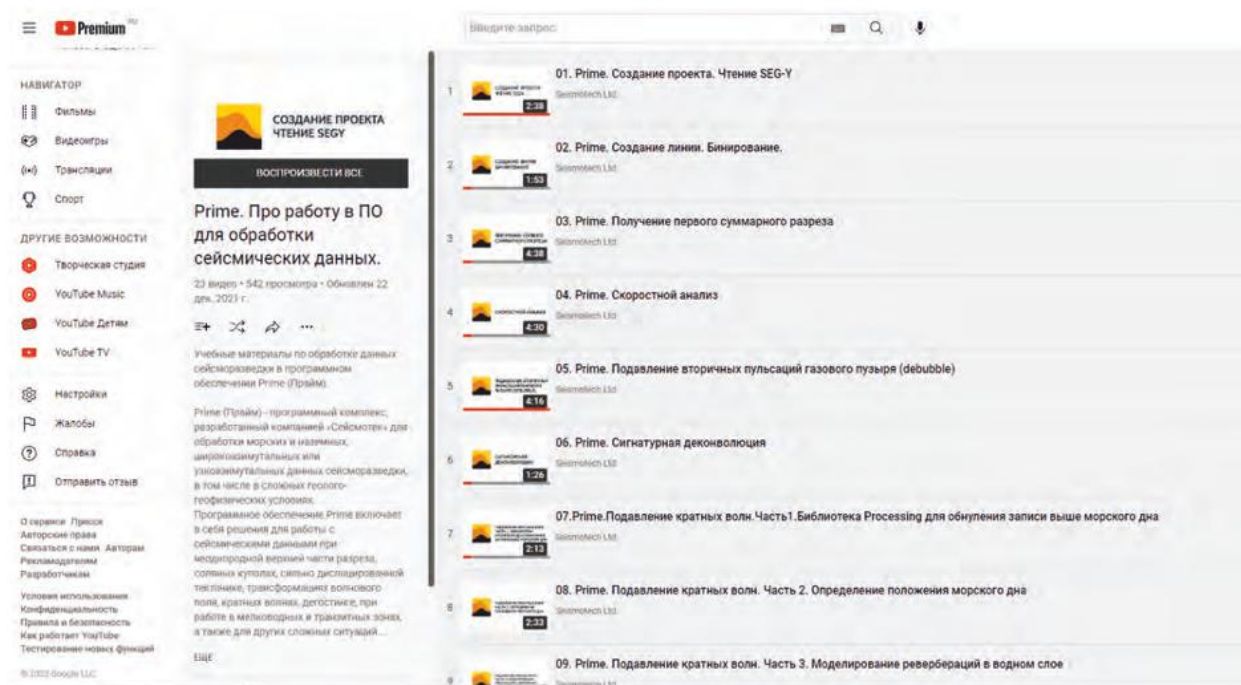
▼ Рис. 8. Концепция облачной реализации Prime.



Облачная кластерная инфраструктура разворачивается полностью в течение 30 минут, после чего можно сразу начинать работать над новым проектом. Вычислительные кластеры необходимой мощности и конфигурации создаются для каждого конкретного расчёта, учитывая его требования и специфику. Таким образом, в ходе обработки оплачиваются только реально использованные ресурсы, необходимые для выполнения конкретных задач, что позволяет оптимизировать затраты, связанные с простоем оборудования.

Примером может послужить недавний кейс, когда большой объём морских данных потребовал локализации 20 000 ядер, что позволило выполнить глубинную миграцию Кирхгофа за 7 дней.

10 Тб	объём данных для миграции на одном из проектов
15 км	глубина миграции
30 км	максимальные апертуры миграции
20 000 ядер	выделено на облаке для выполнения процедуры
7 дней	заняла данная процедура



▲ Рис. 9. Обучающие материалы на официальной YouTube странице компании.

На данный момент Prime поставляется с подробной инструкцией на русском языке и примерами типичных заданий. Помимо этого, на YouTube канале компании есть серия обучающих роликов. Планируется дальнейшая разработка видеоматериалов для самостоятельного изучения.

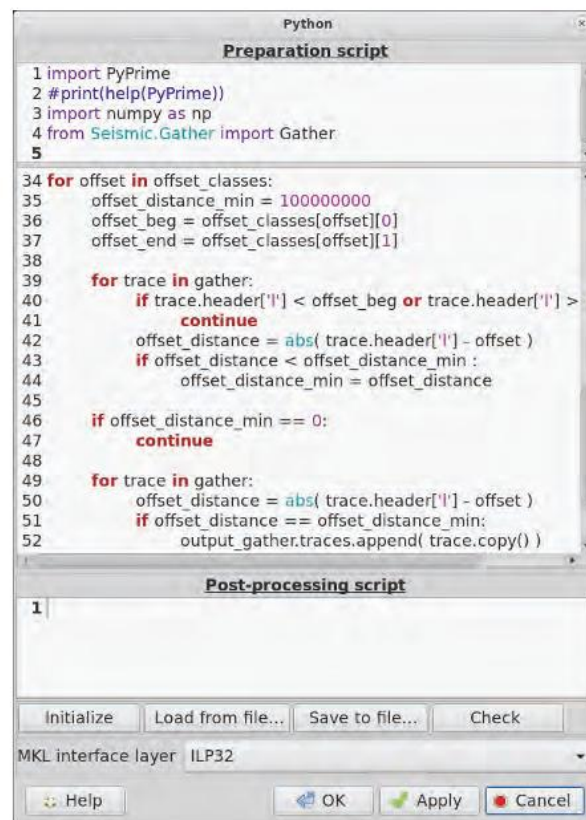
Prime & Python

Недавно в дереве обработки данных появился модуль – Python, который позволяет пользоваться огромным потенциалом самого популярного языка программирования для проведения любых операций с сейсмическими трассами и заголовками.

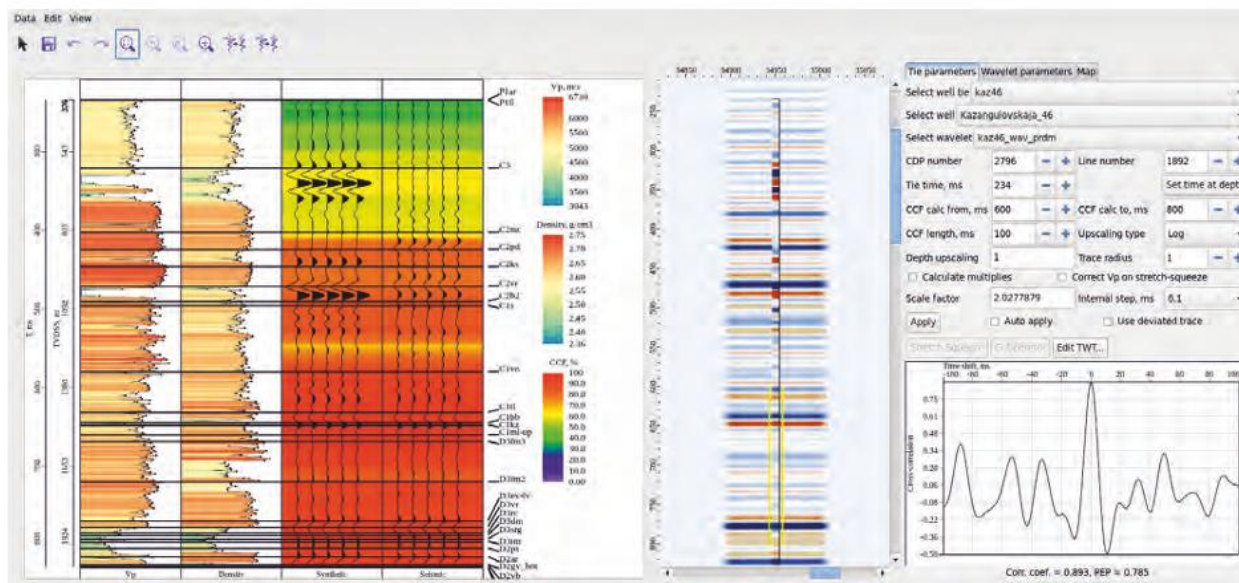
Данный инструмент открывает огромные возможности по расширению функционала Prime, вплоть до реализации алгоритмов машинного обучения (Machine Learning).

Кроме того, в этом модуле можно использовать библиотеки, предназначенные для работы на графических картах

(GPU) – это открывает возможность задействовать графические ядра для счета (например, NVIDIA Tesla).



▲ Рис. 10. Пример написания собственных скриптов на языке Python для работы с сейсмическими данными.



▲ Рис. 11. Основное окно программы WellTie для работы со скважинными данными.

Программа WellTie – новый инструмент работы со скважинами

Функционал программы позволяет выполнять:

- Стратиграфическую привязку.
- Извлечение формы сигнала.
- Коррекцию скорости.

Разработка новых инструментов

1. Полноволновая инверсия сейсмических данных с использованием трансформаций волновых полей (FWI)

В настоящее время активно ведётся разработка комплекса программ полноволновой инверсии, интегрированных в систему обработки сейсмических данных.

2. Моделирование волновых полей по гибридной схеме (сеточное моделирование и моделирование послойным пересчётом)

Планируется разработать программы конечно-разностного моделирования волновых полей для отдельного пласта или части среды в целевой области и, затем, пересчёта полей на дневную поверхность способом послойного пересчёта для пластовой модели вышележащей толщи.

3. Комплекс программ оценивания и

коррекции частотно-зависимого поглощения

Данный комплекс предназначен для решения следующих задач:

- Оценивание плавной составляющей изменений поглощения по площади.
- Уточнение параметров поглощения с учётом реального пути пробега волны средствами томографии с целью коррекции глубинно-скоростной модели.
- Возможность коррекции поглощения на кинематическом уровне за счет модификации программ миграции.
- Реализация способа частотной и фазовой коррекции поглощения на этапе постмиграционной обработки.

Раз в полгода мы делаем официальный релиз последней версии программы, в которую входят новые инструменты, разрабатываемые в течении длительного времени. Например, в ближайшую версию планируется включить инструменты для оценки и коррекции частотно-зависимого поглощения. В то же время Prime улучшается непрерывно: исправление ошибок, минорные изменения и дополнения вносятся в программу ежедневно и регулярно поставляются пользователям.

Литература

1. Анисимов Р. Г. и др. Повышение эффективности обработки больших объемов сейсмических данных //Геология нефти и газа. – 2021. – №. 3. – С. 95-109.

2. Овчинников К. Р. и др. Технологические преимущества обобщенной пластовой модели при обработке и интерпретации сейсмических данных. Материалы конференции «ПроГРРесс» //EAGE, Сочи. – 2019.

3. Фиников Д.Б. Симметризирующие фильтры // Технологии сейсморазведки. 2007. №1. С. 26-36.

4. Овчинников К. Р., Рябинский М. А., Фиников Д. Б. Фазовая деконволюция 3D данных сейсморазведки. Технологические и методические аспекты применения статистического алгоритма коррекции фазового спектра //Геоевразия-2022. Геологоразведочные технологии: наука и бизнес. – 2022. – С. 80-83.

5. Полубояринов М.А., Фиников Д.Б. Предсказывающая деконволюция в задаче коррекции нестационарных сейсмических записей // Технологии сейсморазведки. 2006. №1. С. 24-32.

6. Кунченко Д. С., Фиников Д. Б., Шалашников А. В. Влияние фазового спектра сигнала на результаты робастной деконволюции //Геоевразия. – 2020. – №. 2018. – С. 45.

7. 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.

8. Анисимов Р.Г., Давлетханов Р.Т. Некоторые технологические приемы, используемые при построении пластовой глубинно-скоростной модели среды. «Геофизика» Выпуск №1. – 2017. – С.02-07.

9. Анисимов Р.Г. и др. Оценка достоверности структурных построений спосо-

бом многовариантной томографии //Труды III Международной геолого-геофизической конференции и выставки "Геоевразия 2020 Современные технологии изучения и освоения недр Евразии". – 2020. – Т. 2. – С. 209.

10. Овчинников К. Р. и др. Как и зачем моделировать волновые поля в сейсморазведке //Актуальные проблемы нефтегазовой отрасли. – 2022. – С. 117-137.

Подробнее об авторах



Анисимов
Руслан Гурьевич

Ведущий программист,
ООО «Сейсмотек».



Давлетханов
Ришат Талгатович

Ведущий геофизик,
Кандидат ф.-м. наук,
ООО «Сейсмотек».



Кунченко
Даниил Сергеевич

Геофизик,
ООО «Сейсмотек».



Овчинников
Кирилл Радиславович

Геофизик,
ООО «Сейсмотек».