



ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ИНТЕРПРЕТАЦИИ СЕЙСМИЧЕСКИХ И СКВАЖИННЫХ ДАННЫХ W-SEIS

М.С. Канаков¹, В.В. Лапковский¹, В.А. Конторович^{1,2}, К.И. Канакова^{1,2}, Ю.С. Шорохов¹

*¹Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН,
630090, Новосибирск, просп. Акад. Коптюга, 3, Россия,*

*²Новосибирский государственный университет, 630090, Новосибирск, ул. Пирогова, 1, Россия,
e-mail: KanakovMS@ipgg.sbras.ru*

В статье освещаются функциональные возможности разрабатываемого в ИНГГ СО РАН программного комплекса W-SEIS, предназначенного для интерпретации данных 2D/3D сейсморазведки и бурения. Комплекс представляет собой набор взаимосвязанных приложений и утилит, каждое из которых может использоваться как самостоятельный программный продукт. Программное обеспечение является кроссплатформенным, реализовано с использованием клиент-сервисной архитектуры, обладает высокой производительностью и предъявляет минимальные системные требования к компьютерному оборудованию.

Разработка ПО, программный комплекс, сейсмическая интерпретация, картаж, сеточная модель, моделирование волновых полей, картопостроение, геологическая модель

W-SEIS INTERPRETATION SOFTWARE FOR SEISMIC AND WELL DRILLING DATA

M.S. Kanakov¹, V.V. Lapkovsky¹, V.A. Kontorovich^{1,2}, K.I. Kanakova^{1,2}, Yu.S. Shorohov¹

¹Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, Koptuyug Ave., 3, Novosibirsk, 630090, Russia,

*²Novosibirsk State University, Pirogova Str., 1, Novosibirsk, 630090, Russia,
e-mail: KanakovMS@ipgg.sbras.ru*

The article highlights the functionality of the W-SEIS software developed at the IPGG SB RAS, designed to interpret 2D/3D seismic and drilling data. The application consists of a set of interconnected modules and utilities, each of which can be used as an independent software product. W-SEIS is a cross-platform software, it is developed using a client-service architecture and has high performance and imposes minimal system requirements on computer equipment.

Software development, seismic interpretation, well logging, grid model, wave field modeling, gridding, geological model

ВВЕДЕНИЕ

Комплексная интерпретация данных сейсморазведки и бурения является одним из ключевых инструментов в ходе геологоразведочных работ в нефтегазовой отрасли. В процессе интерпретации решаются такие задачи, как выделение и прослеживание отражающих границ, картирование структурных ловушек, расчленение разреза на литолого-стратиграфические единицы, выявление пород-коллекторов, литологических и тектонических экранов, построение разномасштабных моделей залежей углеводородов, подсчет запасов и ресурсов и многое другое.

На рынке программного обеспечения (ПО) для нефтегазовой отрасли представлен ряд продуктов для работы с сейсмическими и скважинными данными, каждый из которых имеет свою специфику, сильные и слабые стороны. Некоторые являются узкоспециализированными, ориентированными на работу с месторождениями на этапе доразведки и эксплуатации, другие охватывают весь комплекс геологоразведочных задач, но, зачастую, требуют длительного обучения (ознакомления) и больших технических мощностей. Кроме того, лидерами рынка являются исключительно зарубежные продукты, а в сложившейся геополитической ситуации остро стоит вопрос о создании и использовании импортонезависимых российских технологий [Указ..., 2022].

В Институте нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН ведется разработка программного комплекса W-SEIS, первое поколение ПО получило свидетельство о государственной регистрации в 2011 году [Конторович, Лапковский, 2011]. Начиная с 2012 года разрабатывается новая существенно более функциональная версия этого программного комплекса, который предназначен для интерпретации сейсмических и скважинных данных (ГИС) и построения геологических моделей на всех этапах ГРП.

В настоящий момент стадия готовности ПО соответствует уровню TRL 7 по номенклатуре госкорпорации «Росатом» от 24.04.2018 [(innov-rosatom.ru)]. Всего уровней TRL ("Technology Readiness Level") для программных продуктов 9, седьмому соответствует следующее описание: *«Разработан прототип программного обеспечения со всеми ключевыми функциями, доступными для демонстрации и тестирования. Прототип программного обеспечения хорошо интегрирован с реальными программно-аппаратными системами, и продемонстрирована реальная осуществимость. Большинство ошибок программного обеспечения устранены. Разработана ограниченная документация»*. Для завершения разработки до стадии коммерческого продукта команда проекта готова к сотрудничеству со стратегическими и финансовыми партнерами.

Комплекс уже полномасштабно используется для научных и договорных работ ИНГГ СО РАН, а также для проведения учебных курсов по интерпретации сейсморазведки и ГИС на геолого-геофизическом факультете Новосибирского государственного университета, при подготовке бакалаврских, магистерских и кандидатских диссертаций.

W-SEIS представляет собой набор взаимосвязанных приложений, каждое из которых может использоваться как самостоятельный программный продукт. Основных модуля три: первый – *Desmana* – предназначен для работы с сейсмическими данными. Второй модуль – *GISWell* служит для интерпретации и представления данных геофизических исследований скважин (ГИС). За моделирование волновых полей отвечает приложение *Mink*. Несмотря на то, что каждый модуль может функционировать самостоятельно, максимальное удобство работы обеспечивает их совместное применение за счет интеграции функционала и простоты передачи данных между ними путем использования совместных баз данных.

Проект полностью написан на языке программирования C++, что, в числе прочего, обеспечивает очень низкие аппаратные системные требования. Кроме того, в работе ПО используются все возможности современного компьютерного оборудования, например, многопоточность процессоров и применение видеоадаптеров в качестве сопроцессора для массивных вычислений.

Выбор в качестве основы фреймворка Qt обеспечивает работу программного комплекса на всех видах операционных систем (*Windows/Mac OS/Linux* (включая ОС российского производства)), а также использование SQLite и MySQL/PostgreSQL в качестве СУБД (система управления базами данных) позволяет легко масштабировать размеры интерпретационных проектов и в перспективе позволит достаточно легко добавить возможность совместной работы пользователей с одним проектом.

ОПИСАНИЕ ОСНОВНОГО ФУНКЦИОНАЛА ПО

Рассмотрим подробнее возможности каждого модуля W-SEIS.

Основные задачи, решаемые с помощью модуля *Desmana* – интерпретация данных сейсморазведки 2D, 3D и построение сеточных моделей.

Разведка и разработка большинства нефтегазоперспективных регионов и отдельных месторождений в России в большинстве случаев имеет длительную историю. По этой причине интерпретатору зачастую приходится сталкиваться с неувязанными данными, полученными в разное время разными организациями. В приложении перед началом загрузки данных сейсморазведки в интерпретационный проект существует возможность редактирования этикеток SEG-Y файлов, расчета или пересчета координат по известным точкам для профилей и кубов с учетом шага пикетажа, в том числе в пакетном режиме. Вносимые изменения сохраняются в виде шаблонов для дальнейшего использования в приложении.

Для всех загруженных в базу объектов (профили, скважины, точки, сеточные модели, контуры) возможно осуществить пересчет системы координат (в проекции Гаусса-Крюгера), выполнить заданный сдвиг или поворот и масштабировать данные с коэффициентом. Также реализована функция проверки целостности геометрии загруженных профилей и их коррекции при обнаружении ошибок, таких как самопересечения, зигзаги линии профиля или резкие перепады расстояний между трассами.

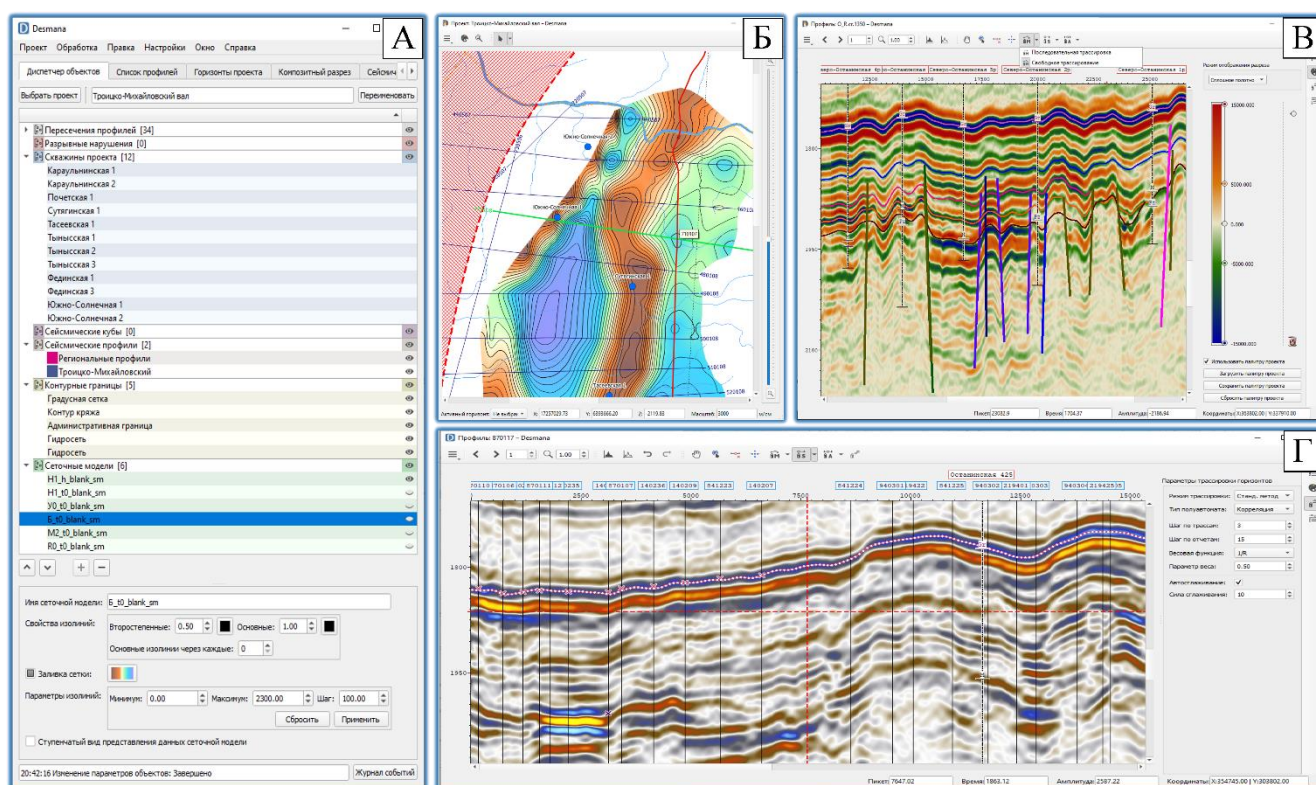


Рис. 1. Многооконный интерфейс приложения Desmana: А – диспетчер объектов, Б – планшет для представления данных в плане, В, Г – временные сейсмические разрезы

Увязать данные в проекте можно при помощи дополнительных процедур, таких, как например, минимизация квадратов отклонения значений различных параметров волнового поля в точках

пересечений сейсмических профилей. Сюда входит корректировка по времени или амплитудам сейсмических трасс разреза и проверка совпадения полярности сигналов волнового поля.

В Desmana используется независимый многооконный пользовательский интерфейс, который состоит из основного окна программы, планшета для отображения данных в плане и неограниченного количества окон для вывода разрезов (временных, глубинных, композитных, палеоразрезов) (рис. 1).

Функциональный диспетчер объектов позволяет легко структурировать данные и осуществлять работу с разными группами объектов на планшете, таких как сейсмические профили, кубы, скважины, сеточные модели, контурные границы, разрывные нарушения.

Планшет имеет гибкие настройки параметров представления данных, что позволяет привести его к удобному для пользователя виду, и вместе с возможностью экспорта в «шейп-файл» (формат ArcGIS) или форматы векторной графики дает возможность быстро создавать наборы электронных или графических приложений (рис. 2).

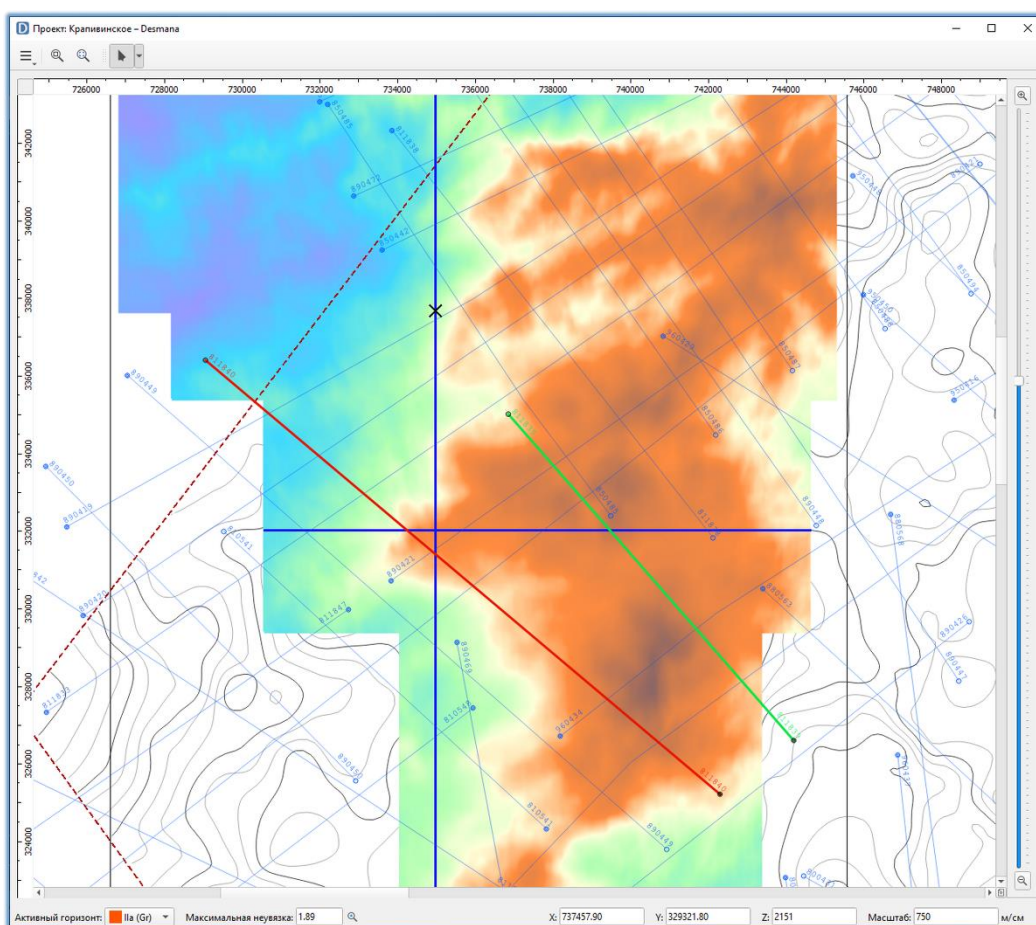


Рис. 2. Одновременная работа с сейсмическими профилями и кубами в интерпретационном проекте на планшете

Интерфейс работы с окнами временных, глубинных, палео и композитных разрезов позволяет настраивать любые параметры отображения, например, выбирать и редактировать шаблоны цветных палеток (см. рис. 1). На разрезах имеется набор инструментов для работы с отражающими горизонтами, которые позволяют выполнять их трассировку в ручных, автоматических и полуавтоматических режимах. Также полученные горизонты можно редактировать разными способами, например, сглаживать, копировать и вставлять фрагменты.

Возможность оформления разрезов с помощью цветowych заливок и крапа реализована в самом приложении, что помогает повысить наглядность представления данных, а вместе с функцией экспорта в SVG (векторный графический формат) позволяет значительно сэкономить время на подготовку графики (рис. 3).

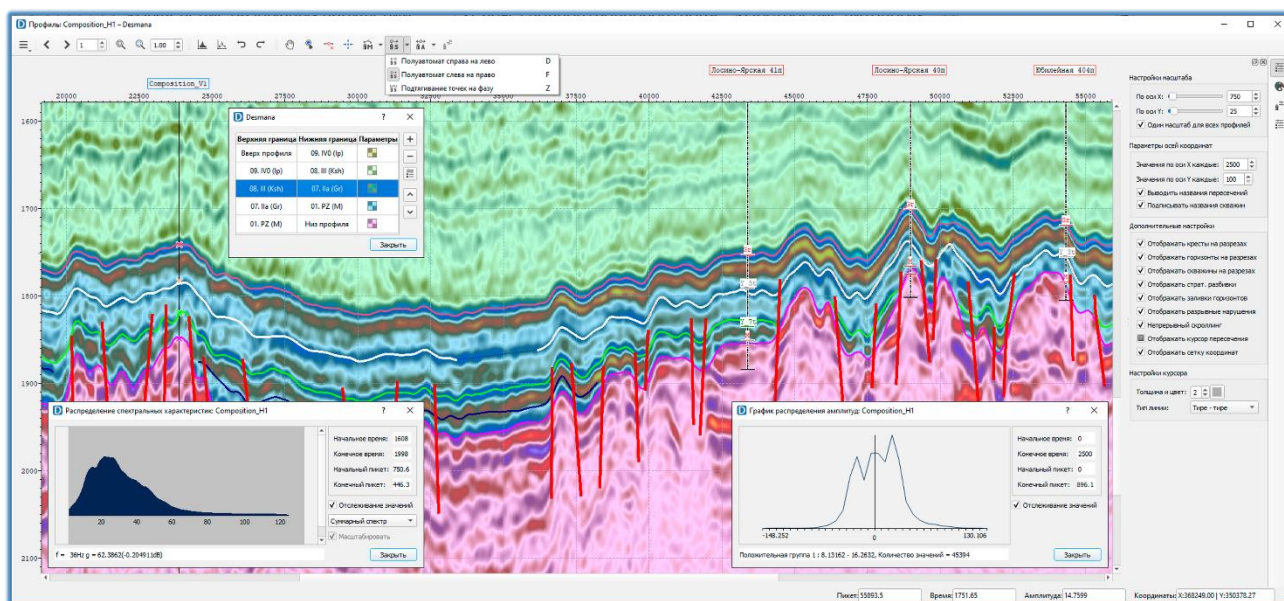


Рис. 3. Пример оформления разреза, вывод амплитудных и спектральных характеристик

Для целей конструирования и выбора сейсмических атрибутов в окне разреза доступны инструменты построения амплитудных графиков и частотных спектров в заданных диапазонах (см. рис. 3).

В последние годы в научных и производственных организациях большое внимание уделяется такому инструменту интерпретации, как атрибутный анализ. Под сейсмическими атрибутами принято понимать некие математические преобразования сейсмических данных с целью извлечения нетривиальной информации о параметрах среды. Большинство атрибутов основываются на анализе и преобразованиях таких параметров волнового поля, как амплитуда и частота. При этом глубина преобразования данных может существенно различаться. Это могут быть как амплитудные или частотные фильтры, так и производные и разнообразные дифференциальные формы. Формально к атрибутам могут относиться параметры, вычисляемые при различных видах инверсии, связанные с акустическими свойствами среды. Оценка когерентности волнового поля, позволяющая распознавать разрывные нарушения, также является важным атрибутом.

Вся спецобработка (фильтры) сейсмических данных реализована через открытый API (программный интерфейс приложения), что позволяет быстро создавать всевозможные процедуры в дополнение к существующим в пакете. В приложении представлены все стандартные операции спецобработки, например, различные виды Гильберт и Фурье преобразований, а также другие, наиболее часто используемые в работе интерпретатора фильтры сейсмических данных. Все операции можно выполнять в пакетном режиме, обрабатывая разрезы целиком или задавать временной интервал, в том числе с помощью горизонтов. Также можно обрабатывать области на профилях, выделенные вручную с помощью графического интерфейса.

С инструментом динамического анализа данных можно в автоматическом режиме получить набор карт сейсмических атрибутов, построенных для разного числа скользящих окон после фильтрации между

заданными горизонтами. Это значительно ускоряет поиск нужных атрибутов и помогает интерпретатору не пропустить значимую информацию. В качестве примера на рис. 4, А приведена карта спектральной плотности сигнала для кровли палеозойских отложений одного из месторождений Западной Сибири. Атрибут был использован для качественной оценки параметра затухания в различных частотных диапазонах. Наиболее яркие зоны, в которых затухание минимально, соответствуют скважинам, вскрывшим непроницаемые породы. [Канакова, Татевосян, 2022]. На рисунке 4, Б показан срез мгновенных амплитуд (Гильберт-преобразование) по месторождению, где получило развитие песчаное тело руслового генезиса [Аюнова и др., 2022]. В кровле и подошве тело ограничено выдержанными угольными пластами, которые «сливаются» в единый в местах отсутствия песчаника. Наличие песчаника увеличивает расстояние между углями и приводит к противофазному суммированию отраженных волн от каждого угольного пласта, что и выражается в уменьшении амплитуды интерференционного сигнала.

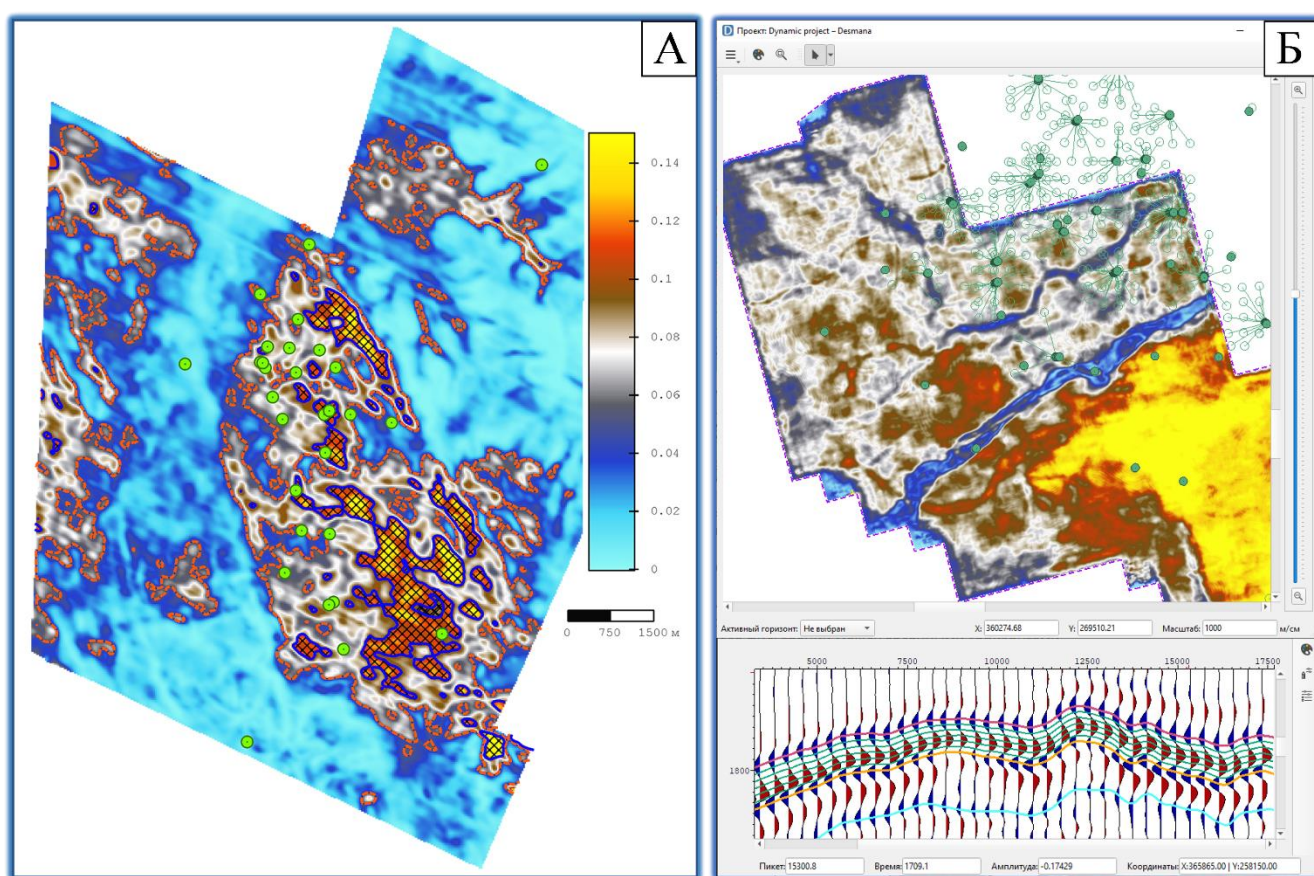


Рис. 4. Примеры сейсмических атрибутов. А – карта спектральной плотности сигнала, Б – карта мгновенных амплитуд

Стоит подробнее остановиться на функции сеймостратиграфической параметризации для сейсмических разрезов и кубов, где используется алгоритм DTW (алгоритм динамической трансформации временной шкалы) или, что практически то же самое – волновой алгоритм Ли [Лапковский, 2012]. Результат такой параметризации позволяет не только автоматизировать трассировку отражающих горизонтов с учетом разрывных нарушений, позволяя проводить их через любую точку разреза или куба, но и использовать сеймостратиграфический параметр для анализа пространственного распределения свойств. Данный инструмент позволяет корректно интерполировать измеренные свойства внутри куба, обеспечивая, например, получение кубов пористости по скважинным данным. Уменьшение погрешности

интерполяции достигается за счет избыточного количества отражающих горизонтов, выделенных с учетом изменений характеристик волнового поля (рис. 5).

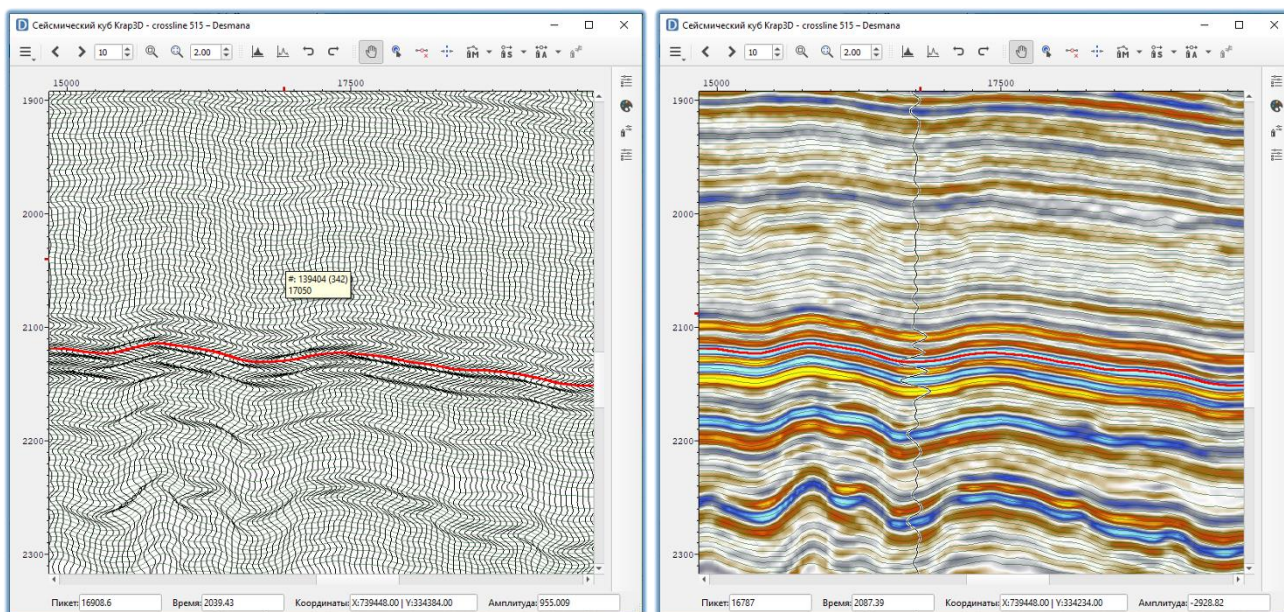


Рис. 5. Срез куба по непрерывной сейсмостратиграфической модели мезозойско-кайнозойских отложений Западной Сибири

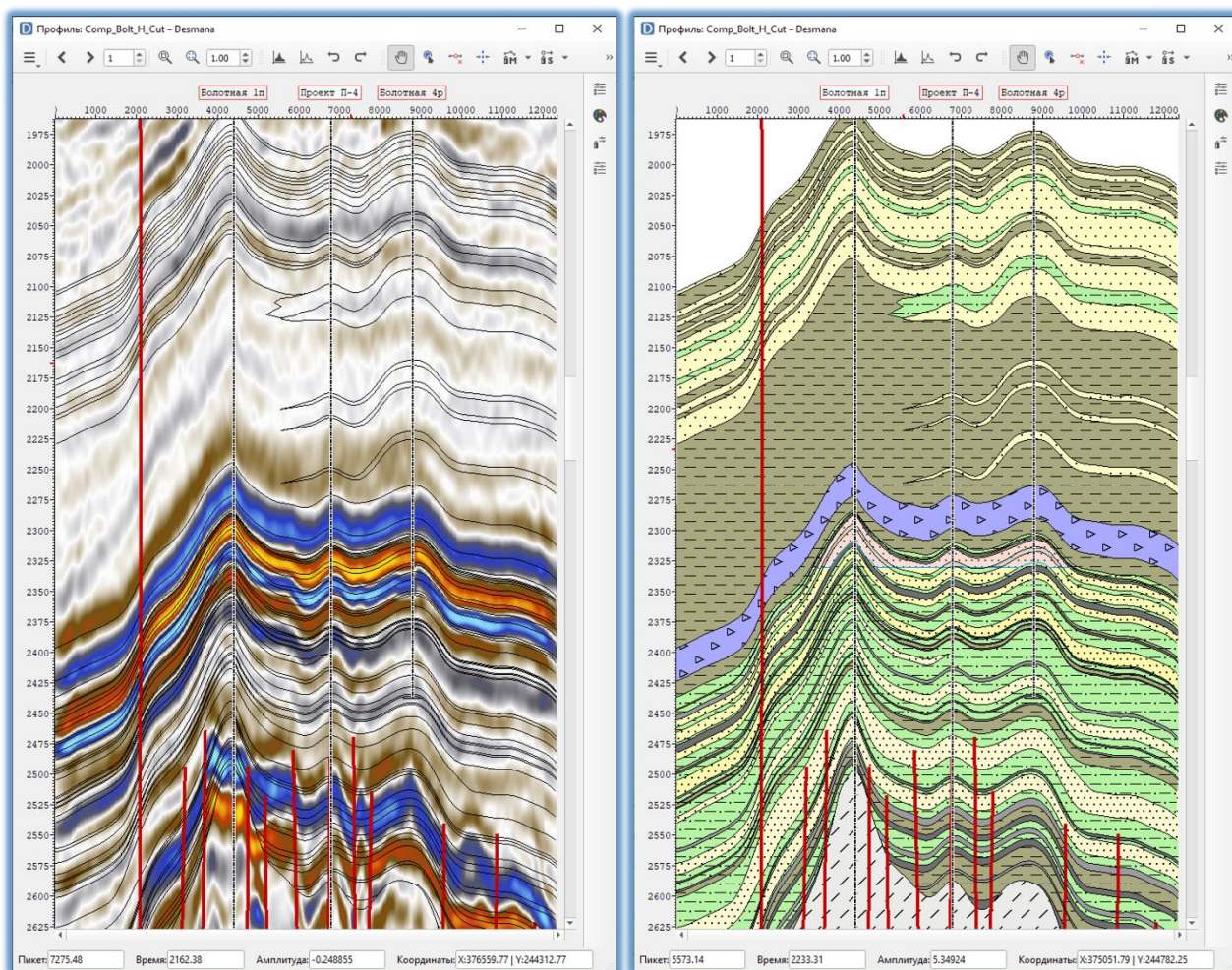


Рис. 6. Пример построения и оформления геологического разреза

Одним из этапов комплексной сейсмогеологической интерпретации является переход от временной модели среды к глубинной. Пересчет разрезов и кубов базируется на модели скоростного закона исследуемой территории, которая детализируется в процессе работы над проектом. Первоначально она основана только на данных ВСП (вертикальное сейсмопрофилирование) или априорных представлениях о скоростных параметрах среды, затем происходит ее уточнение за счет определения времен двойного пробега волны до отражающих горизонтов и их стратиграфической привязки в скважинах, позднее в ней также могут учитываться структурные карты (рис. 6).

В приложение интегрирован *модуль картопостроения*, который позволяет осуществлять построения сеточных моделей в том числе с учетом разрывных нарушений.

В основе методов картопостроения лежит использование натуральных псевдокубических сплайнов [Василенко, 1980; Роженко, 2006] или одного из видов кригинга с возможностью задания вариограммы. Эти базовые методы адаптированы к учету любого количества и конфигурации разрывных нарушений. Точная «посадка» сеточной модели на данные выполняется с использованием дифференциальной схемы или скользящего среднего. Существует возможность построения сеточных моделей на основе регрессионных зависимостей от других сеток, скважинных данных и их комбинаций.

Модуль включает в себя обширный набор функций по редактированию и визуализации сеток, таких как: сглаживание, в том числе локальное, вклейка фрагментов, коррекция поверхности по скважинным данным, дифференциальные преобразования, сшивка сеток, изменение лимитов и параметров, бланковка и разбланковка, пересчет по графикам, оцифровка изолиний. С учетом значимости площадного распределения фациальных типов отложений для оценки перспектив нефтегазоносности территорий стоит упомянуть реализованные алгоритмы поиска типовых форм поверхностей, таких как уступы, центральные линии долин и хребтов, бровки и тыловые швы террас [Лапковский, 2018]. Перечисленный функционал может быть существенно расширен путем использования калькулятора сеточных моделей.

Встроенные инструменты для работы с контурными границами на планшете проекта позволяют осуществить создание, редактирование и различные преобразования контуров-полигонов (например, контуры залежей, гидросеть, различные границы) и задавать пользовательские настройки их визуализации.

В рамках существующего функционала визуализация данных в Desmana реализована в двумерном пространстве (срезы и сечения, карты и разрезы). Тем не менее модель внутреннего представления данных в приложении является трехмерной, что служит заделом для дальнейшего добавления в ПО возможности 3D визуализации.

Примером может служить инструмент построения трехмерной модели разрывных нарушений, которая получается в результате одновременной работы интерпретатора по выделению линий разломов на отдельных разрезах (сечениях) и прослеживанию их в плане (на планшете) с целью формирования сложнопостроенных поверхностей.

На разрезах дизъюнктивные нарушения выделяются на основе анализа смещения осей синфазности (когерентности волнового поля), осложнение волновой картины дифракционными эффектами, выделением локальных зон пониженных амплитуд и т. д. Для более уверенной трассировки разломов пользователь может воспользоваться набором сейсмических фильтров доступных в приложении. Опираясь на точки пересечения поверхности отражающего горизонта и разрывных нарушений, выделенных на разрезах, с помощью интерактивного графического интерфейса интерпретатор осуществляет увязку сети разломов на планшете (рис. 7). Инструмент позволяет

использовать дополнительные данные, например, карты направления градиентов, кривизны поверхности или выделенных типовых форм.

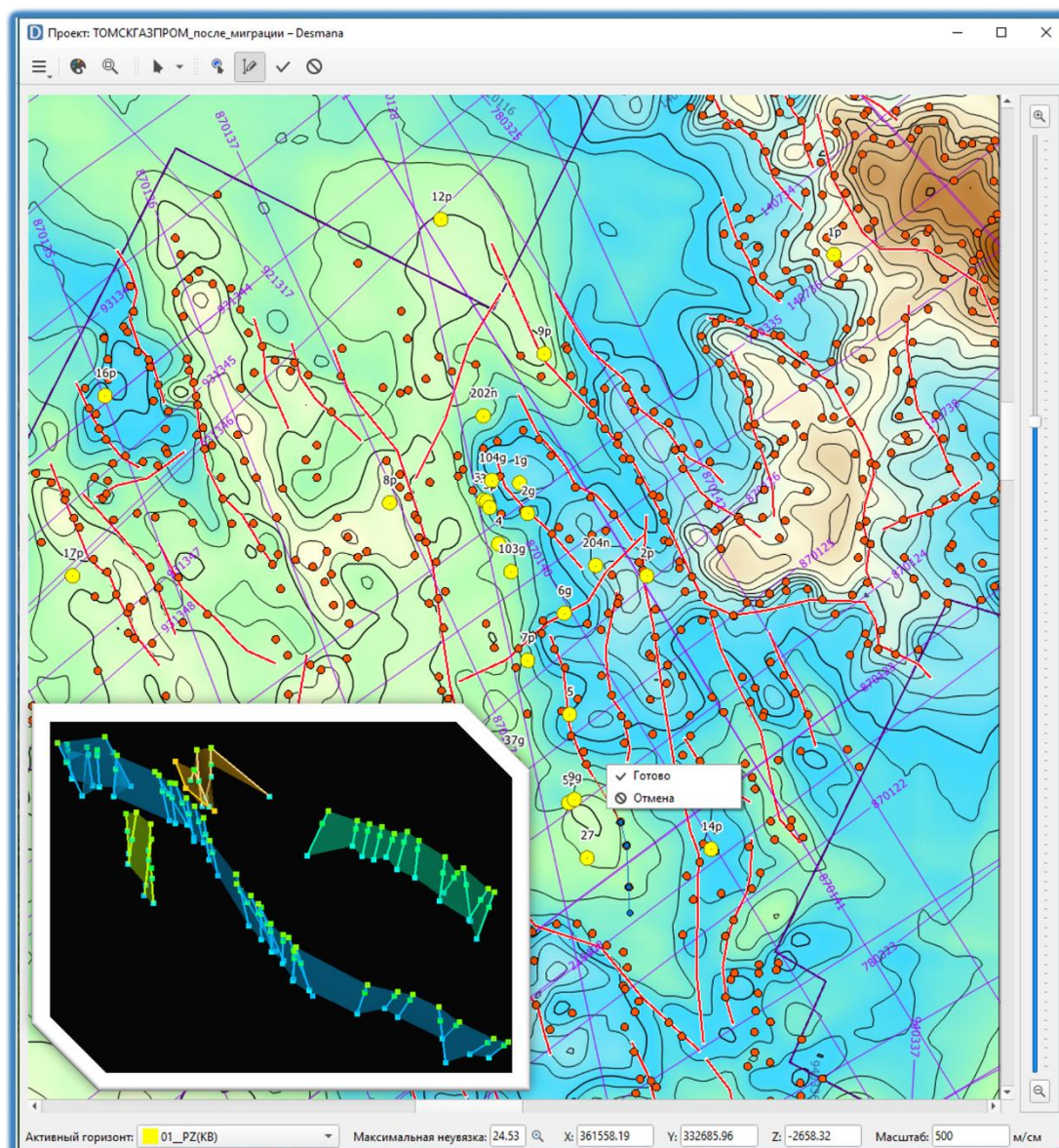


Рис. 7. Пример построения модели разрывных нарушений

Модуль *GISWell* служит для работы со скважинными данными. В приложении реализовано быстрое создание базы данных, путем загрузки основных параметров, таких как название, идентификатор, координаты, альтитуда и стратиграфические отбивки из готовых таблиц. После создания базы можно добавить табличные данные по отбору керна, испытаниям в скважинах, инклинометрии и ВСП. Полученная база данных может быть подключена к сейсмическому проекту *Desmana*, что позволит визуализировать траектории наклонных скважин и отбивки стратиграфических уровней на разрезах и кубах в точках скважин с данными ВСП.

Загрузка каротажа в скважины может производиться из нескольких источников одновременно (LAS, TXT), при этом в сводной таблице приводится сравнение данных и интерпретатор выбирает кривые, которые пойдут в проект. Существует также инструмент пакетной загрузки каротажных кривых во все скважины проекта с автоматическим определением их типов. Дополнительно в виде кривых могут быть

загружены результаты лабораторных точечных измерений петрофизических параметров. В приложении пользователю доступен инструмент по склейке, в том числе, пакетной, разномасштабных кривых одного типа и инструмент увязки по глубине между собой кривых разных типов. Речь идет не только о глобальных сдвигах, но и о локальных смещениях кривых друг относительно друга. Нормализация кривых осуществляется через встроенный калькулятор с возможностью задания региональных и стратиграфических трендов. Для кривых ПС реализован отдельный инструмент – построение альфа-функции с учетом смещения линий глин и песков.

Одним из важных и трудоемких процессов на всех этапах геологоразведочных работ является корреляция разрезов скважин. В приложении GISWell вся работа интерпретатора может проводиться на корреляционных схемах, без необходимости перехода к планшету отдельной скважины. Помимо ручного порядка скважины в схемах можно выстраивать по изменению мощности выбранного интервала или по расположению их на площади (координаты X, Y), задавать интервалы отображения по глубине и выравнивать данные на любой стратиграфический уровень (рис. 8). Вариативность отображения кривых ГИС реализована через пользовательский набор шаблонов, которые включают в себя не только цвет и закраску каротажа, но и распределение кривых по контейнерам (трекам). Шаблоны можно сохранять в файлы для дальнейшего использования в других проектах или при работе с одним проектом разными пользователями. Так же на корреляционных схемах можно вывести данные по испытаниям и включить отображение интервалов отбора зерна с текстовым описанием.



Рис. 8. Пример корреляционной схемы юрских отложений

В программном пакете реализованы следующие режимы визуализации данных: 1) отображение глубин по стволу (измеренные глубины), 2) вертикальное отображение (пересчет с учетом инклинометрии), 3) вывод во временном масштабе (для скважин со скоростным законом). В любом из этих режимов доступны функции работы со стратиграфическими уровнями и интервалами. Редактирование

отбивок может осуществляться несколькими способами, например, на планшете профиля/скважины посредством графического интерфейса или через окно встроенной таблицы со стратиграфическими данными, которая может быть экспортирована в форматы электронных таблицы (*.xls, *.csv) для использования в сторонних приложениях (Microsoft Excel и аналоги). При экспорте существует возможность формирования различных вариантов вида данной таблицы, например, вертикальное или горизонтальное представление данных, расчет дополнительных параметров с учетом инклинометрии и т. д.

Помимо экспорта таблиц существует пакетный режим выгрузки всех данных проекта: LAS файлов ГИС/РИГИС и инклинометрии, выгрузка таблиц с данными по испытаниям, описанию керна, лабораторным измерениям петрофизических параметров и возможность сформировать поскважинный каталог наличия и параметров каротажных кривых в проекте. Дополнительно существует функция переноса проекта в ПО Schlumberger Petrel, на основе авторского плагина.

Для задач количественной интерпретации ГИС реализовано построение кросс-плотов по любому набору кривых и вывод статистических данных по скважинам с разбиением по стратиграфическим интервалам или без (рис. 9). Расчет кривых РИГИС осуществляется при помощи специального диспетчера процессов (Workflow), который позволяет составлять последовательности операций сравнения значений кривых (абсолютные значения или качественное поведение) с граничными значениями, задаваемыми интерпретатором. Существует возможность переноса отдельных технологических цепочек между проектами простым копированием/вставкой. Настройки визуализации данных позволяют создавать графические элементы с собственными параметрами (крап, цвет) и любыми значениями кодов для вывода литологии, насыщения, фаций и других дискретных кривых в отдельных колонках (треках).

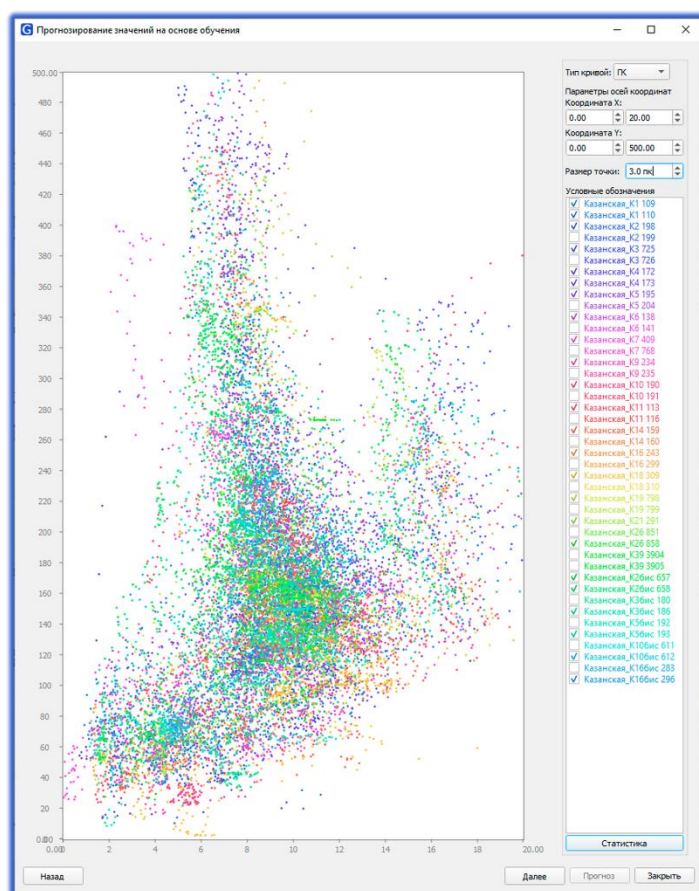


Рис. 9. Кросс-плот акустического (АК) и радиоактивного (ГК) каротажа

В приложение встроен модуль прогноза значений, который базируется на обучении в скважинах с полным набором данных и аппроксимации значений в местах отсутствия некоторых из них. В модуле реализовано три метода прогноза – двумерная сплайн-аппроксимация с подбором оптимального параметра сглаживания, многомерная линейная регрессия и кластеризация данных с использованием расстояний Махаланобиса [Mahalanobis, 1936] до каждого из классов для оценки их веса при прогнозе. Описываемый инструмент позволяет восстанавливать кривые в местах отсутствия значений (например, восстановить кривую АК по другим данным ГИС) или осуществлять количественную интерпретацию ГИС, например, рассчитываться кривые литологии или пористости на основе обучения по эталонам. Модуль дополняет функциональный пакетный калькулятор, предоставляющий практически неограниченные возможности по редактированию и созданию новых кривых.

Одной из важных задач сейсморазведки является моделирование волнового поля, то есть синтезирование волновой картины среды на основе имеющихся данных о ее упругих параметрах, в том числе с целью корректной увязки геологических и сейсмических данных (пример временной привязки разреза дан на рис. 10).

Моделирование производится в модуле *Mink*, которое позволяет строить литолого-акустические попластовые модели по скважинным данным или с помощью графического интерфейса создавать теоретические модели среды (см. рис. 10). Параметры теоретических сигналов или произвольного загруженного импульса подбираются путем сопоставления реальной и синтетической трасс. В приложении доступен простой сверточный метод коэффициентов отражения и сверточный метод с учетом кратных волн, а также расчет полного волнового поля конечно-разностным методом в переменных Лагранжа [Немирович-Данченко, Стефанов, 1995] для 2D и 3D моделей.

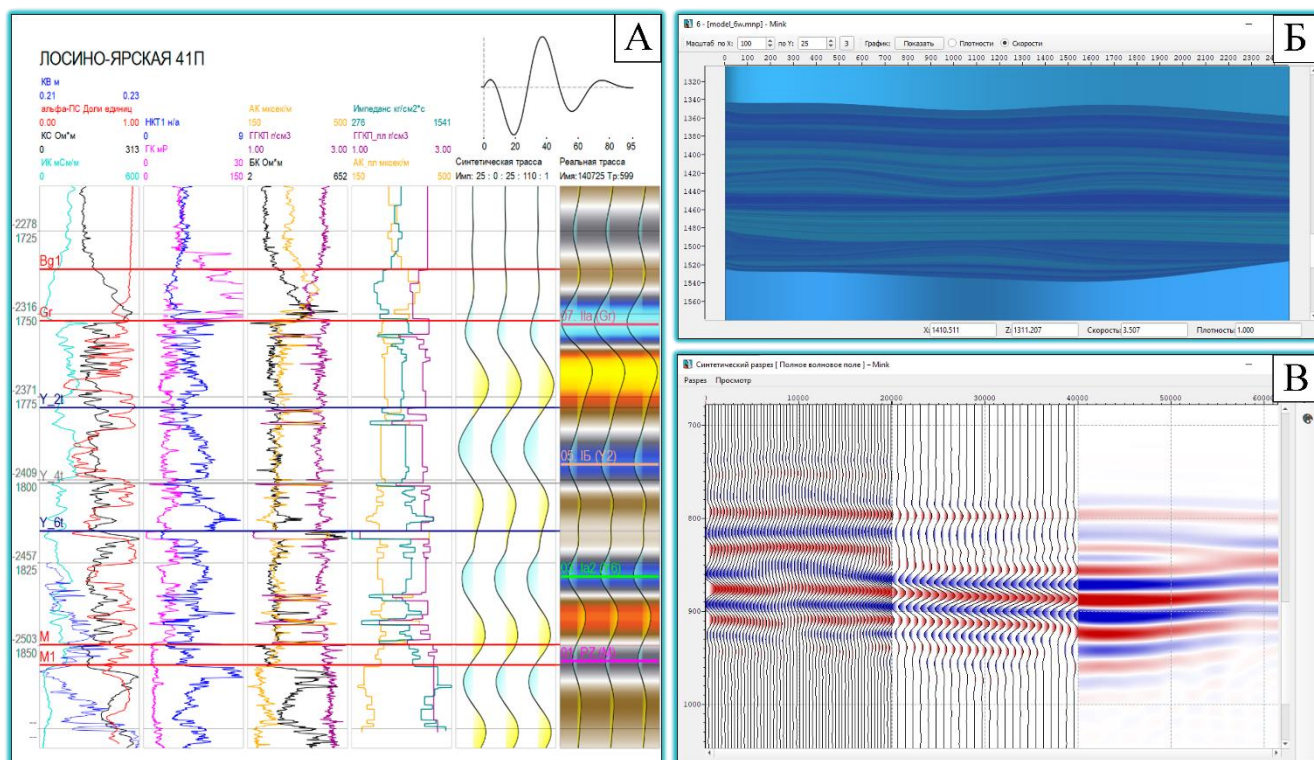


Рис. 10. Моделирование волновых полей: А- стратиграфическая привязка данных, Б – слоистая модель среды, В – синтетический временной разрез

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Программное обеспечение W-SEIS разрабатывается с целью создания единого комплексного технологического решения для задач геологоразведочных работ, связанных с интерпретацией сейсмических и скважинных данных и призвано решить проблему создания большого количества рабочих мест с эффективным, недорогим, импортонезависимым инструментом.

Основными преимуществами и особенностями продукта являются:

- Низкие системные требования для компьютерного оборудования и высочайшая производительность в повседневных задачах интерпретатора;
- кроссплатформенность приложений, позволяющая использовать любые операционные системы, включая отечественные;
- поддержка широкого спектра форматов данных, используемых в индустрии;
- двунаправленный перенос интерпретационных проектов между ПО W-SEIS и Schlumberger Petrel посредством авторского плагина;
- возможность на стадии разработки адаптировать ПО под собственные задачи и произвести интеграцию с уже используемыми программными продуктами (например, поддержка собственных форматов или работа приложения с имеющимися базами данных);
- экономический эффект от снижения затрат на ПО и компьютерное оборудование.

На данный момент разработка комплекса продолжается, наиболее актуальными задачами на настоящий момент являются: добавление модуля 3D визуализации, завершение работ по созданию инструмента сейсмической инверсии, реализация возможности одновременного совместного использования одного интерпретационного проекта, расширение функционала работы с нейронными сетями, машинным обучением и распознаванием образов (в сотрудничестве с другими научно-исследовательскими группами ИНГГ СО РАН). Команда разработчиков планирует вывод программного комплекса за рамки внутреннего проекта института и приглашает к сотрудничеству заинтересованных специалистов научных и производственных организаций для всестороннего тестирования продукта и получения обратной связи.

Тема исследования соответствует госзаданию ИНГГ СО РАН (проект FWZZ-2022-0009) и ГИН РАН.

ЛИТЕРАТУРА

Аюнова Д.В., Канакова К.И., Ибрагимова С.М. Условия формирования подугольной и надугольной пачек горизонта Ю1 северо-западной части Калгачского наклонного мегавала // Интерэкспо ГЕО-Сибирь – "Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Экономика. Геоэкология": Материалы XVIII международной научной конференции (г. Новосибирск, 18–20 мая 2022 г.). Том 2. – Новосибирск: ИНГГ СО РАН, 2022. – № 1. – С. 18–26.

Василенко В.А. Сплайн-функции: теория, алгоритмы, программы. – Новосибирск: Наука, 1983. – 215 с.

Канакова К.И., Татевосян Л.С. Методические приемы изучения нефтегазоносности карбонатных и терригенно-карбонатных отложений фундамента Западно-Сибирской плиты на примере месторождений томской области // Сборник материалов международной научно-практической конференции "Геосочи-2022. Актуальные проблемы геологии и геофизики в нефтегазовой отрасли". – Сочи, 2022. – С. 89–95.

Конторович В.А., Лапковский В.В. W-SEIS. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2011610211 от 11.01.2011.

Лапковский В.В. Непрерывная сейсмостратиграфическая модель, как основа структурной интерпретации разрезов МОГТ // Технологии сейсморазведки. – 2012. – № 4. – С. 33–39.

Лапковский В.В. Оценка сходства поверхностей слоев с типовыми геоморфологическими и тектоническими формами // Интерэкспо ГЕО-Сибирь: XIV Международный научный конгресс (г. Новосибирск, 23–27 апреля 2018 г.): Междунар. науч. конф. "Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Экономика. Геоэкология": Сборник материалов в 6 т. – Новосибирск, СГУГиТ, 2018. – Т. 1. – С. 217–223.

Немирович-Данченко М.М., Стефанов Ю.П. Применение конечно-разностного метода в переменных Лагранжа для расчета волновых полей в сложнопостроенных средах // Геология и геофизика. – 1995. – № 36 (11). – С. 95–104.

Роженко А.И. Вариационные сплайны: учебное пособие в 3 ч. – Новосибирск, НГУ, 2009.

Указ Президента РФ от 30 марта 2022 г. N 166 "О мерах по обеспечению технологической независимости и безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации". Официальный интернет-портал правовой информации, <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202203300001?ysclid=lb204g36me322107836>.

Mahalanobis P.C. On the generalised distance in statistics // Proceedings of the National Institute of Sciences of India. – 1936. – Vol. 2 (1). – P. 49–55.

REFERENCES

Ayunova D.V., Kanakova K.I., Ibragimova S.M. Conditions for the formation of subcoal and supracol units of horizon Yu1 of the northwestern part of the Kalgach inclined megaswell // Interexpo GEO-Siberia – "Subsoil use. Mining. Directions and technologies for prospecting, exploration and development of mineral deposits. Economics. Geoecology": Proceedings of the XVIII International Scientific Conference (Novosibirsk, May 18–20, 2022) – IPGG SB RAS, Novosibirsk, 2022. – Vol. 2 (1). – P. 18–26.

Decree of the President of the Russian Federation of March 30, 2022 No. 166 "On measures to ensure the technological independence and security of the critical information infrastructure of the Russian Federation". Official Internet portal of legal information, <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202203300001?ysclid=lb204g36me322107836>.

Kanakova K.I., Tatevosyan L.S. Methodical methods for studying the oil and gas potential of carbonate and terrigenous-carbonate deposits of the basement of the West Siberian plate on the example of fields in the Tomsk region // Collection of materials of the international scientific and practical conference "Geosochi-2022. Actual problems of geology and geophysics in the oil and gas industry". – Sochi, 2022. – P. 89–95.

Kontorovich V.A., Lapkovsky V.V. W-SEIS. Certificate of state registration of the computer program. No. 2011610211, dated 01.11.2011.

Lapkovsky V.V. Assessment of the similarity of layer surfaces with typical geomorphological and tectonic forms Interexpo GEO-Siberia: XIV International Scientific Congress (Novosibirsk, April 23–27, 2018): Intern. Scientific Conf. "Subsoil use. Mining. Directions and technologies for prospecting, exploration and development of mineral deposits. Economics. Geoecology": Collection of materials in 6 books. – SGUGiT, Novosibirsk, 2018. – Vol. 1. – P. 217–223.

Lapkovsky V.V. Continuous seismic stratigraphic model as the basis for the structural interpretation of CDP sections // Russian Journal of Seismic Technologies. – 2012. – Vol. 4. – P. 33–39.

Mahalanobis P.C. On the generalised distance in statistics // Proceedings of the National Institute of Sciences of India. – 1936. – Vol. 2 (1). – P. 49–55.

Nemirovich-Danchenko M.M., Stefanov Yu.P. Application of the finite difference method in Lagrange variables for calculating wave fields in complex media // Russian Geology and Geophysics. – 1995. – Vol. 36 (11). – P. 95–104.

Rozhenko A.I. Variational splines: study guide: in 3 books. – Novosibirsk State University, Novosibirsk, 2009.

Vasilenko V.A. Spline functions: theory, algorithms, programs. – Nauka, Novosibirsk, 1983. – 215 p.

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

КАНАКОВ Михаил Сергеевич – ведущий программист лаборатории сейсмогеологического моделирования природных нефтегазовых систем Института нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН. Основные научные интересы: разработка программных инструментов для решения геологических задач.

ЛАПКОВСКИЙ Владимир Валентинович – доктор геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией математического моделирования природных нефтегазовых систем Института нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН. Основные научные интересы: математическое моделирование в области нефтегазовой геологии, заложения и заполнения осадочных бассейнов, компьютерные методы построения стратиграфических, структурных и сейсмогеологических моделей.

КОНТОРОВИЧ Владимир Алексеевич – член-корреспондент РАН, доктор геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией сейсмогеологического моделирования природных нефтегазовых систем Института нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, доцент кафедры геологии месторождений нефти и газа ГГФ НГУ. Основные научные интересы: комплексный анализ геолого-геофизических данных, построение моделей геологического строения месторождений нефти и газа, выявление нефтегазоперспективных объектов, разработка геофизических методов поиска месторождений нефти и газа в различных осадочных комплексах Сибири.

КАНАКОВА Ксения Игоревна – младший научный сотрудник лаборатории сейсмогеологического моделирования природных нефтегазовых систем Института нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, ассистент кафедры геологии месторождений нефти и газа ГГФ НГУ. Основные научные интересы: комплексная интерпретация данных сейсморазведки и бурения, построение сейсмогеологических моделей.

ШОРОХОВ Юрий Сергеевич – ведущий программист лаборатории сейсмогеологического моделирования природных нефтегазовых систем Института нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН. Основные научные интересы: разработка и реализация высокопроизводительных алгоритмов, математическое моделирование.

*Статья поступила в редакцию 30 ноября 2022 г.,
принята к публикации 22 декабря 2022 г.*