

Организационная структура, система управления

Центр обработки и интерпретации (ЦОИ) ОАО "Саратовнефтегеофизика" создан в результате реорганизации существовавшей с начала 80-х годов XX века Геофизической экспедиции цифровых годов XX века Геофизической экспедиции (ГЭЦОИ). Основным элементом реорганизации было организационное отделение подразделений, непосредственно участвующих в работе с геолого-геофизической информацией, от подразделений обеспечения.

В современном виде (см. рис. 1) ядром ЦОИ является Партия обработки и интерпретации, объединяющая специалистов – геологов и геофизиков, осуществляющих обработку и интерпретацию всех видов геолого-геофизической информации.

Входящая в состав ЦОИ Партия проектирования и контроля качества работ обеспечивает разработку методики выполнения полевых сейсморазведочных работ и контроль качества полевых работ, первичную приемку полевого материала и передачу его в обработку.

Группа архивизации и содержания фондовых материалов обеспечивает формирование и поддержку фондов геолого-геофизической информации, а также выполнение вспомогательных работ по подготовке к обработке сейсмических данных и данных ГИС прошлых лет (в том числе, хранящихся в аналоговом виде).

Подразделение возглавляет начальник ЦОИ, непосредственным руководителем которого является Генеральный директор ОАО "Саратовнефтегеофизика". Общий контроль соответствия методики и результатов работы ЦОИ требованиям нормативных документов и договорной документации осуществляется главным геологом и главным геофизиком Общества.

Деятельность подразделения направлена на достижение следующих целей Общества:

- обеспечение удовлетворенности Заказчиков на основе выполнения требований геологического задания и проекта работ, высокого качества результатов работ при соблюдении договорных сроков выполнения работ;
- повышение технико-методического уровня выполнения работ, производительности труда, сокращение удельных расходов при решении поставленных геологических задач;
- повышение квалификации персонала.

В своей деятельности ЦОИ руководствуется следующей документацией:

- планами деятельности Общества;
- договорной документацией на

выполнение геофизических работ;

- документами распорядительного характера;
- методиками, инструкциями и иными нормативно-методическими документами, регламентирующими работы, выполняемые подразделением.

При начальнике Центра обработки и интерпретации действует совещательный экспертно-консультативный орган Научно-технический совет (НТС) ЦОИ.

НТС осуществляет:

- экспертизу геолого-технических заданий и иной проектной документации на выполнение и сейсморазведочных работ в части методики выполнения полевых работ, методики и технологии выполнения обработки и интерпретации геофизических данных, состава и сроков представления Заказчикам отчетной документации;
- оперативную оценку качества выполнения обработки и интерпретации геофизических данных по конкретным проектам;
- оценку итоговых результатов (отчетов, пас-

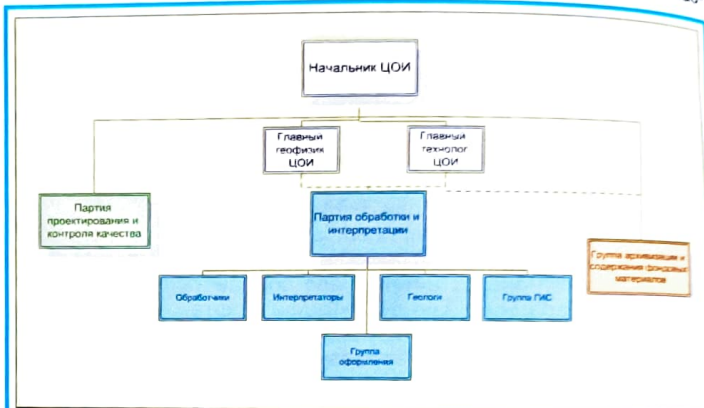


Рис. 1. Организационная структура ЦОИ

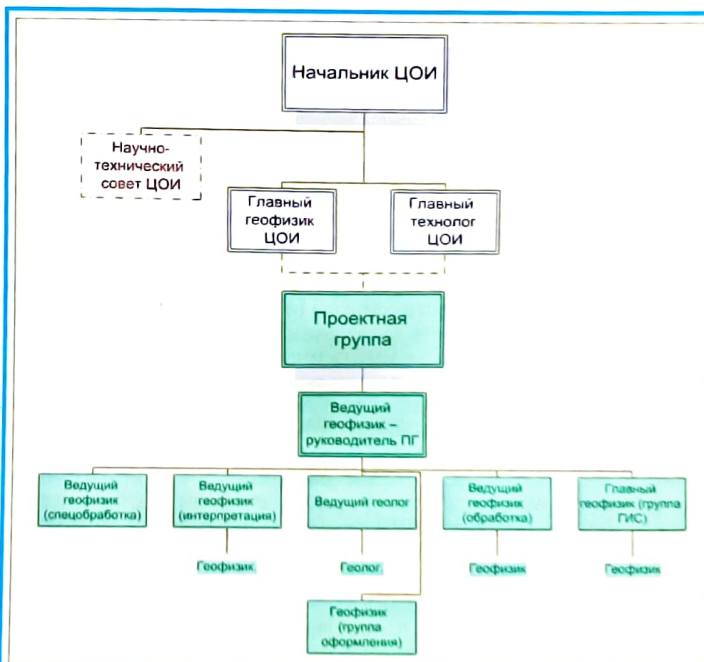


Рис. 2. Обобщенная структура управления проектом

портов и 12-ти выполненных ЦОИ работ по конкретным проектам до представления их Заказчикам.

При выполнении камеральных геолого-геофизических работ в Партии обработки и интерпретации ЦОИ используется проектный подход.

За непосредственное выполнение работ отвечает проектная группа, формируемая из специалистов ЦОИ в соответствии со спецификацией проекта. Состав и календарный план работы проектной группы утверждается приказом Генерального директора.

Руководство Проектом осуществляет ведущий геофизик - руководитель проектной группы.

Входящий в состав проектной группы ведущий геолог обеспечивает формирование априорной геолого-геофизической модели площади работ, подлежащей уточнению в результате выполнения обработки и интерпретации сейсморазведочных данных. На этапе обработки ведущий геолог совместно с руководителем проектной группы и ведущим геофизиком (интерпретатором) обеспечивают контроль адекватности промежуточных и конечных результатов геолого-геофизической модели.

Непосредственное выполнение обработки осуществляется ведущим геофизиком (обработкой), возглавляющим группу специалистов, обеспечивающих выполнение отдельных элементов графа обработки.

Обработка и интерпретация данных ГИС осуществляется персоналом группы ГИС под руководством главного геофизика группы, в тесном сотрудничестве с ведущим геологом и ведущим геофизиком-интерпретатором.

Интегрированная интерпретация данных МОГТ и ГИС осуществляется ведущим геофизиком-интерпретатором и ведущим геологом.

Главный технолог ЦОИ обеспечивает методическое руководство и контроль деятельности специалистов партии обработки и интерпретации ЦОИ по выполнению цифровой обработки полевых сейсморазведочных данных, в соответствии с требованиями геологического задания, проекта работ, иной нормативно-методической и договорной документацией.

Главным геофизиком ЦОИ осуществляется организация деятельности по выполнению обработки сейсмических данных в соответствии с требованиями геологического задания, проекта работ, иной нормативно-методической и договорной документацией.

Техническое оснащение

Основу вычислительного комплекса ЦОИ ОАО «Саратовнефтегеофизика» составляют 3 PC-кластера и 12 рабочих станций на базе персональных компьютеров Hewlett Packard.

Основной PC-кластер (22-х процессорный 11-и узловой кластер (88 ядер) (узлы DELL PowerEdge R610; процессоры Intel X5667 Processor 3.06GHz; 336 GB RAM; 6 x 500 GB SAS RAID Edition; 2 сетевых адаптера 1 Gb и 10 Gb; операционная система Linux CentOS); сетевой дисковый массив RAID-6, 2 контроллера, емкость 33 TB) используется для стандартной обработки, а два других (16-ти процессорный 8-ми узловой кластер (узлы R-Style MARSHALL по два процессора Intel Xeon 3060MHz; 2 GB RAM; 2 сетевых адаптера 1 Gb, операционная система Linux: Red Hat 7.3; сетевой дисковый массив RAID-5 емкостью 4 TB;) могут использоваться для задач как стандартной, так и углубленной обработки (в основном для миграции до суммирования).

Рабочие станции (HP хw8400, хw8600, HP Compaq dc7800) используются для интерпрета-

ции, для задач динамического анализа, а также для миграции до суммирования в небольших объемах.

В качестве рабочих места для выполнения стандартной обработки PC-кластерах используются X-терминалы на базе компьютеров HP Thin Client.

Максимальное количество рабочих мест на базе X-терминалов, которые могут функционировать одновременно – до 30 рабочих мест.

В качестве периферийных выводных устройств используются следующие:

- лазерные принтеры HP LaserJet 1100, HP LaserJet 2015, HP Color LaserJet 5550;
- цветной струйный принтер Epson Stylus Color 640;
- цветной струйный плоттер формата A0 HP DesignJet 1055; HP DesignJet 1055 CM+, HP DesignJet T1100;
- цифровые инженерные системы формата A0 Xerox 8825, Xerox 6050a.

Локальные компьютерные сети (производительность 1 Гбит/с и 10 Гбит/с) позволяют рационально распределять отдельные этапы графа обработки и интерпретации между компонентами аппаратного комплекса и эффективно использовать вычислительные мощности.

Сетевая организация вычислительного комплекса позволяет получить гибкую распределенную структуру, которую можно легко наращивать и подстраивать под условия текущих заказов на обработку и интерпретацию.

Аппаратно-программный комплекс включает несколько логических подсистем, выполняющих различные задачи в общей технологии обработки и интерпретации, увязанных в общую структуру:

- система ввода первичных полевых данных и препроцессинга;
- основная система стандартной обработки;
- система специализированной обработки и динамического анализа;
- система интерпретации;
- система оперативного вывода контрольных материалов на плоттер формата A0 (черно-белый);
- система вывода результирующих материалов на плоттер формата A0 (цветной);
- система оформления предварительных и окончательных результатов работ;
- система оперативного хранения и архивирования результатов /на жестких дисках (RAID) (общей емкостью около 60 Tb).

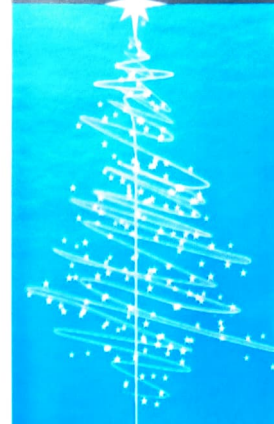
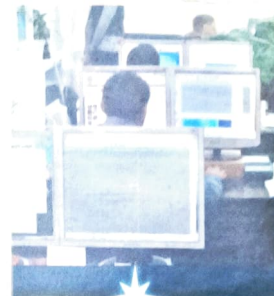
Запись результирующих сейсмических материалов для заказчика выполняется в формате SEG-Y (стандартный вариант) или каком-либо другом (по согласованию).

Возможные типы цифровых носителей информации:

- CD-R, CD-RW, DVD-R, DVD+R;
- USB – диски;
- магнито - оптические диски MO (2.6 Gb, 5.2 Gb);
- Exabyte 8 mm (5 Gb);
- Картриджи типа 3480 (200 Mb), 3490 (800 Mb), 3590 (16 Gb);
- Картриджи типа DLT (40 Gb);
- Картриджи типа LTO-2 "Ultrium" (400 Gb).

Может быть выполнен вывод окончательных результатов обработки (временных разрезов и сечений кубов) на бумажный носитель с соответствующей сопроводительной информацией.

Математическое обеспечение процессов обработки и интерпретации данных сейсморазведки составляют несколько комплексов программ современного уровня, удовлетворяющие



ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР СТРУКТУРА И ЗАДАЧИ ГВЦ

самым последним требованиям к обработке и интерпретации.

Основной системой стандартной обработки является пакет программ "Geocluster" (версия 5000) (CGGVeritas, Франция), обладающий развитым пользовательским интерфейсом, позволяющим быстро составлять задания, контролировать процесс их выполнения и анализировать результаты с помощью соответствующих графических приложений. Специализированные интерактивные приложения для скоростного анализа позволяют осуществлять выбор скоростного анализа одновременно по мини-стекам (фрагментам временного разреза), вертикальным спектрам скоростей, сейсмограммам ОГТ, а также оперативно получать и анализировать карты скоростей (в случае 3D).

Помимо основной системы обработки, широко применяется ряд вспомогательных комплексов, в частности, в случае сложного строения верхней части разреза, используется комплекс MilleniumX (Green Mountain Geophysics, США), позволяющий выполнять коррекцию статических поправок по годографам головных волн в традиционном варианте и с использованием принципов томографии.

С 2000 года в ОАО «Саратовнефтегеофизика» проводится специализированная обработка материалов 2D и 3D съемок с использованием комплекса «EPOS» (Paradigm Geophysical), в состав которого входят несколько программных пакетов.

Программный пакет GeoDepth позволяет

решать задачи построения глубинно-скоростной модели среды и выполнения миграции до суммирования (во временной и глубинной областях). Получаемые глубинно-динамические разрезы 2D и кубы 3D значительно повышают точность и достоверность структурных построений, также являющихся хорошей основой для построения динамической интерпретации. Для структурной интерпретации.

Для структурной интерпретации и динамического анализа сейсмических данных и динамической фильтрационно-емкостных свойств и прогноза программные пакеты GeoGraphix применяют (интерпретация), Probe (AVO-анализ), Discovery (акустическая инверсия), VoxGeo (сейсмический фациальный анализ). Эти программные комплексы установлены на рабочих станциях.

Этап сейсмической интерпретации условно можно разделить на две составляющие – структурную и динамическую. Условно, поскольку эти два аспекта неразделимы и дополняют друг друга. Структурная интерпретация и комплексирование результатов динамического анализа выполняются с использованием пакета программ GeoGraphixDiscovery (Landmark), а собственно динамический анализ – в пакетах Vanguard, Stratimagic (Paradigm) и включает: акустическую инверсию, сейсмофациальный и атрибутивный анализы.

За долгие годы специалистами ОАО "Саратовнефтегеофизика" было открыто более 100 месторождений. Конечно, большинство открытий приходится на Саратовскую область, геологическое строение которой весьма разнообразно: платформенные условия на севере и северо-западе, Степновский сложный вал в центральной части и заслуживающая особого внимания прибрежная зона Прикаспийской впадины. Но география работ нашей кампании, в разное время выходила далеко за пределы нашей области. Имеется опыт обработки и интерпретации в самых разнообразных по сейсмогеологическим условиям регионах: окраина древней Восточно-Европейской платформы, Сибирская и Западно-Сибирская платформы, Прикаспийская впадина, северный и южный борты Ферганской впадины, Афгано-Таджикская впадина, Припятский прогиб, территории Колумбии, Индии и др. С уверенностью можно говорить о том, что на таком богатом и разнообразном материале в ЦОИ ОАО "Саратовнефтегеофизика" сформировалась собственная школа обработки и интерпретации со своими традициями и правилами [5]. Рассмотрим некоторые наиболее интересные особенности обработки и интерпретации, применяемые в нашей кампании.

Не секрет, что качество и достоверность итоговых материалов обработки во многом зависит от того, насколько полна и достоверна информация о строении верхней части разреза и в первую очередь зоны малых скоростей. В принципе, если на изучаемой сейсморазведкой площади имеется достаточно плотная сеть скважин структурного бурения, позволяющая построить карту поверхности какого-либо горизонта, будь то поверхность палеозоя или мела, то, как показывает опыт наших работ, можно существенно сократить объемы МСК (или МПВ), выполняя указанные исследования лишь в контрольных точках с шагом между последними в 1,5 – 2 км. В промежутках между контрольными точками изохроны проводят в соответствии с рельефом дневной поверхности, следуя нехитрому правилу – «яма – ямистее», «бугор – бугристее», что в переводе на общепринятые понятия означает

сгущение изохрон на приподнятых отметках рельефа и увеличение промежутков между ними в пониженных местах – пойменных участках и т.п. местах. Все «недоборы-переборы» посчитанной таким способом априорной статистики устраняются путем посадки реперного горизонта каждого из обрабатываемых профилей на карту. Понятно, что при отсутствии последней плотность сети МСК должна быть порядка 1 км в левобережье Саратовской области, где нет резких перепадов рельефа поверхности и ЗМС имеет достаточно простое строение, и с шагом не более 500м в правобережье. Понятно, что последний вариант связан с достаточно большими затратами и средств, и времени. В качестве альтернативы, как нам представляется, можно предложить расчет статистики по сейсмограммам ОГТ с использованием комплекса Millennium (разработка компании GMG) в сочетании с опорными пунктами МСК.

Для примера сошлемся на результаты, полученные с помощью вышеназванного комплекса в условиях правобережья.

Конечно, уверенная корреляция времен первых вступлений напрямую зависит от качества первичных сейсмограмм. В то же время, накопленный объем статистических данных, полученных по преломленным волнам для каждого ПВ и ПП, позволил определить основные параметры ВЧР. К таким параметрам относятся – скорость в ЗМС, поле скоростей рефрактора, поле времен задержек, абсолютные отметки рельефа рефрактора. Следует подчеркнуть, что точность получаемых статистических поправок контролировалась увязкой на пересечениях профилей данной площади и при необходимости корреляция пересматривалась.

Сравнение временных разрезов, полученных со «стандартной» статикой и с применением Millennium, показано на рис. 3.

Еще одним специфическим подходом, значительно повышающим эффективность обработки, является процедура исключения влияния криволинейной акустически жесткой границы, находящейся в верхней части разреза. Вообще, этот подход, для данных МОГТ-2D, успешно применяется уже в течение многих лет. Но возможность эффективного использования аналогичной операции для материалов МОГТ-3D появилась не более 10 лет назад, благодаря использованию программного комплекса Geocluster.

В качестве примера можно привести ярко выраженный положительный результат применения данной процедуры при обработке данных МОГТ-3D на Коптевской площади в Саратовской области (работы 2004 года). Исключение влияния первой «жесткой» границы на данной площади являлась совершенно необходимым и принципиально важным элементом графа стандартной обработки. Ее задачей являлось устранение временных искажений годографов полезных волн – отражений от целевых горизонтов карбона и девона.

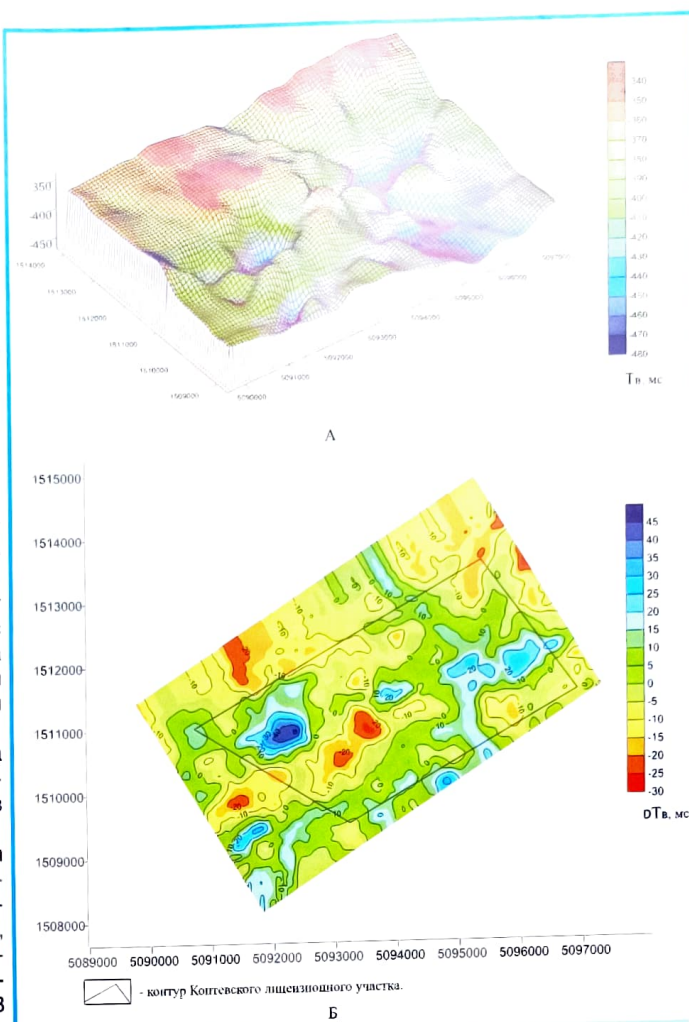


Рис. 4. Поверхность первой «жесткой» границы (T_b) (А), и карта статических поправок исключения влияния этой границы (Б)

Эти искажения связаны с прохождением сейсмических лучей через находящуюся в верхней части разреза (на уровне 300-500 мс) границу с высокой акустической жесткостью (кровля карбонатных отложений палеозоя), имеющую сложную геометрию и резко меняющиеся в пространстве углы и глубины залегания. Интервальная скорость в отложениях над указанной границей (в основном это терригенные отложения) составляет 1800-2000 м/с. Ниже нее разрез представлен высокоскоростными карбонатными породами (доломиты, известняки) и ангидритами, скорость распространения сейсмических волн в которых доходит до 4000-4500 м/с. Следовательно, с учетом изменения плотности, акустическая жесткость в них возрастает более чем в 2 раза.

Такие особенности сейсмогеологического строения разреза не позволяют путем обычного суммирования по ОГТ получить сколько-нибудь удовлетворительную прослеживаемость отражений от целевого интервала разреза. Поэтому, расчет и ввод статических поправок («поправок исключения»), компенсирующих влияние границы, о которой сказано выше, являлся ключевым моментом, определяющим эффективность всех последующих этапов графа и, в итоге, качество окончательного результата обработки.

Процедура расчета поправок исключения включала следующий набор операций:

1. Коррекция кинематических поправок на верхнюю часть разреза, включающую первую «жесткую» границу;

ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР СТРУКТУРА И ЗАДАЧИ ГВИ

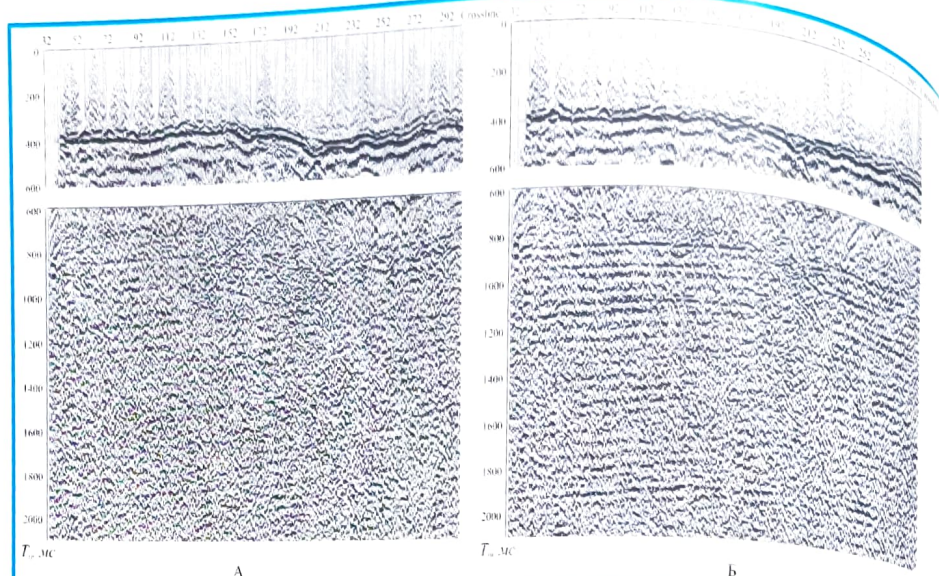


Рис. 5. Эффективность процедуры исключения влияния первой жесткой границы. Фрагменты линии: А - до ввода статпоправок исключения; Б - после ввода статпоправок исключения с коэффициентом $K=0,7$

- Получение суммарного куба на ограниченной по удалениям базе суммирования в целях обеспечения наиболее точной конфигурации линии Т0 для данной границы;
- 3D-миграция по указанному выше кубу;
- Пространственная корреляция первой "жесткой" границы по мигрированному кубу и построение карты вертикальных времен (T_v) указанной границы;
- Построение карты поверхности приведения путем пространственного сглаживания указанной в п.4 карты, т.е. построение карты трендовой составляющей;
- Расчет карты поправок исключения (рис. 4) путем вычитания карты тренда из карты T_v первой жесткой границы;
- Распределение рассчитанных поправок по пунктам приема и возбуждения (по 1/2 величины поправки в пункт приема и в пункт возбуждения);
- Получение набора кубов для анализа с разными коэффициентами (множителями) статпоправок исключения - коэффициентами исключения K ;
- Выбор коэффициентов исключения для различных пространственных зон путем визуального контроля качества суммирования на вертикальных сечениях куба.

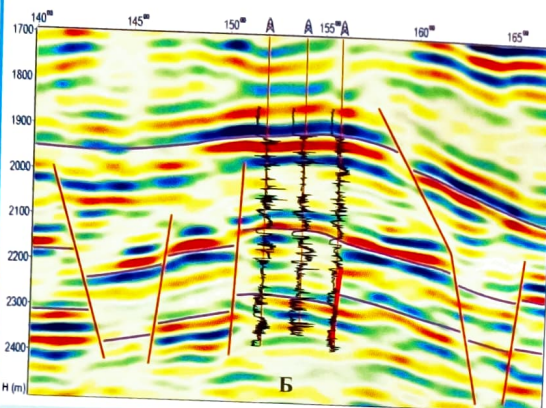
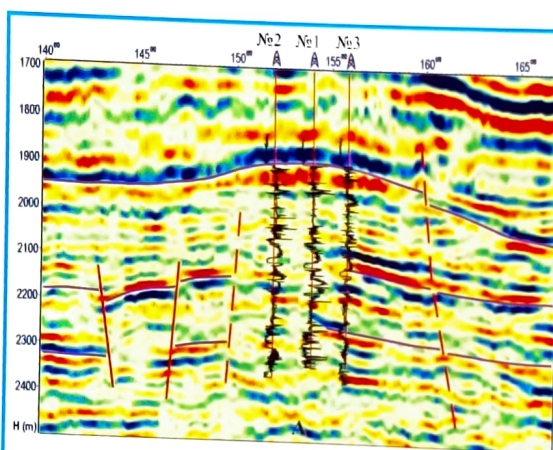


Рис. 6. Сравнение результатов миграции после суммирования (А) и до суммирования (Б)

Теоретически, данные коэффициенты определяются соотношением интервальных скоростей в толще пород над "жесткой" границей V_1 и под ней V_2 и рассчитываются по формуле: $K=(V_2-V_1)/V_2$. Но поскольку значения данных интервальных скоростей могут быть оценены лишь приблизительно, для более точного определения вводимых в ПМ поправок требуется эмпирический подбор коэффициентов K . К тому же указанные скорости могут изменяться по латерали, соответственно и коэффициенты исключения на разных участках площади могут быть различными. Критерием выбора оптимального значения K служит качество прослеживания глубоких границ. В данном случае выполнялось тестирование коэффициента K в интервале от 0.3 до 0.9 с шагом 0.1, и в качестве наилучшего для всей площади было выбрано значение K равное 0.7. Эффективность описанной выше процедуры (с оптимальными параметрами) проиллюстрирована на рис. 5. Как видно, произошло кардинальное улучшение прослеживаемости всего комплекса отложений - как в интервале карбона и девона (800-

1200 мс), так и более глубоких – почти на всем протяжении (по латерали) вертикального сечения куба.

Миграция до суммирования

В настоящее время основные геологические ресурсы УВ в пределах саратовской части Прикаспийской впадины, по-прежнему, связываются с подсолевой частью разреза, где возможно обнаружение залежей УВ, приуроченных как к внутрибассейновым органогенным постройкам средне-верхнефранского возраста, так и к антиклинальным ловушкам, прежде всего в отложениях терригенного девона. Также возможно обнаружение литологически ограниченных ловушек, приуроченных к песчаным линзам и пластам верейско-мелекесской толщ.

Геологические ресурсы УВ надсолевой части разреза оцениваются ниже, но учитывая относительно небольшие глубины залегания потенциально продуктивных отложений – это направление поисков представляет определенный интерес. В надсолевой части разреза, кроме пластовых сводовых ловушек УВ, приуроченных к вершинам соляных куполов, возможны и ловушки, образованные нависающими карнизами соли, что подтверждается разрезом скважины 4 Куриловская. Как показывает опыт поисково-разведочных работ на Южной Эмбе с подкозырьковыми ловушками связаны достаточно значительные запасы УВ.

Поиск названных потенциально продуктивных ловушек затруднен сложной волновой картиной, которая обусловлена широким распространением проявлений солянокупольной тектоники. Достоверность глубинных построений по сейсморазведочным данным в таких сейсмогеологических условиях определяется тремя факторами: качеством прослеживаемости целевых горизонтов, точностью определения скоростной модели среды и корректностью используемого механизма преобразования временного разреза в глубинный. Эти задачи решаются в комплексах программ пластовой миграции до суммирования. Технология интерпретационной обработки, основанная на процедуре миграционного преобразования исходных записей с учетом скоростной модели, определяемой по данным ОГТ, позволяет повысить надежность изображения сейсмических границ и одновременно осуществить корректное преобразование временного разреза в глубинный. Опыт, накопленный специалистами ОАО Саратовнефтегеофизика, показал высокую эффективность использования миграционного преобразования, как в плат-

форменных условиях, так и в областях развития соляной и диапировой тектоники. В работе [2] обсуждается необходимость применения миграции до суммирования в платформенных условиях. В ЦОИ ОАО Саратовнефтегеофизика впервые в Саратовской области, было произведено опробование и внедрение в производство 3D миграции до суммирования с использованием программного комплекса GeoDepth (разработка Paradigm Geophysical) на месторождениях, расположенных в пределах Степновского мегавала, Бузулукской впадины и Жигулевского свода. На ряде примеров было показано, что в платформенных условиях применение миграции целесообразно для решения следующих задач: учета влияния жесткой криволинейной границы в верхней части разреза, связанной с карбонатными отложениями палеозойского возраста, повышения когерентности отражений и устранения негиперболическости годографов, а также локализации мелкомасштабных тектонических нарушений. Один из удачных примеров приведен на рис. 6.

В областях развития солянокупольной тектоники, в некоторых случаях, глубинная миграция до суммирования оказывается единственным инструментом, позволяющим получить информацию о геологическом строении подсолевого комплекса отражений. В работе [1] рассматриваются возможности и проблемы применения

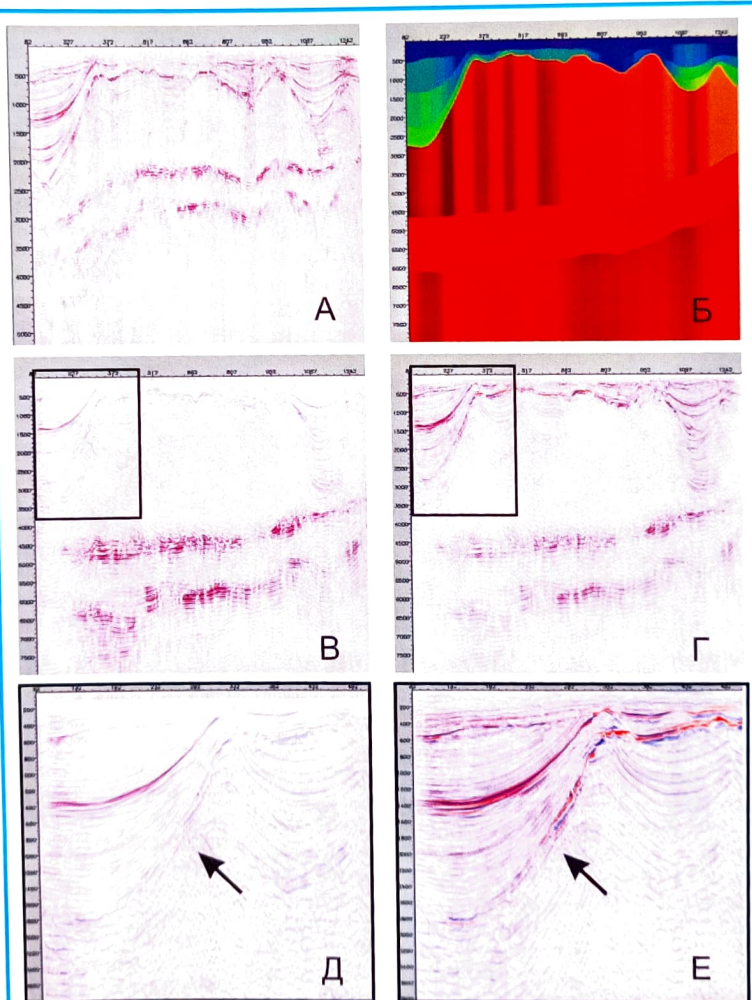


Рис.7. Тестирование алгоритмов миграции до суммирования: А - исходный временной разрез; Б - глубинно-скоростная модель; В - результат миграции по алгоритму Кирхгофа; Г - результат миграции на основе волнового уравнения; Д и Е - увеличенные фрагменты разрезов В и Г соответственно

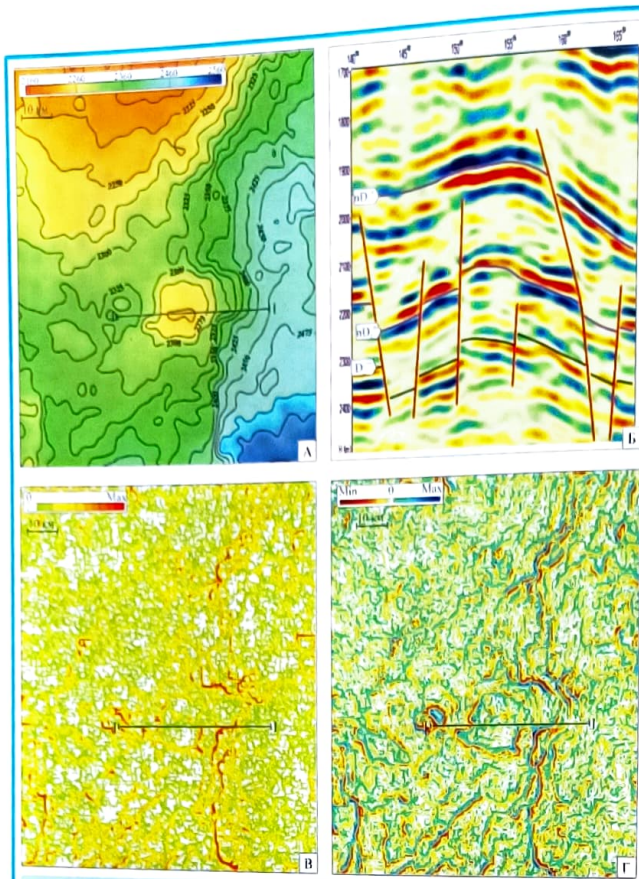


Рис. 8. Результаты расчета атрибутов кривизны: А - структурная карта по горизонту D_2^{vb} ; Б - фрагмент глубинно-динамического разреза по линии I-I; В - карта атрибута $K+$; Г - карта атрибута $Kdip$

миграции до суммирования в Прикаспийской впадине. На рис. 7 приведен пример тестирования различных алгоритмов миграции до суммирования.

Атрибуты кривизны

Одно из основных направлений разведки нефти и газа в Саратовском Поволжье связано с тектонически-экранированными структурами нижнего терригенного комплекса осадочного чехла в зоне сопряжения Бузулукской впадины с Жигулевско-Пугачевским сводом, Степновского сложного вала и "кольца" Саратовских дислокаций с обрамляющими землями в "створе" Рязано-Саратовского прогиба. Для этой территории характерно широкое развитие дизъюнктивных нарушений предтиманской и предфаменской тектонических фаз. Все представляющие разведочный интерес структуры имеют антиклинально-блоковое строение и обусловлены сбросами и грабнями предтиманского возраста амплитудой от 40 до 85м. С предфаменской тектонической фазой связано образование региональных разломов амплитудой до 300-350м. В таких сложных геологических условиях для повышения эффективности интерпретации данных сейсморазведки возникает необходимость использовать специализированные процедуры обработки и интерпретации, позволяющие более точно определять положение тектонических объектов. При этом наибольшее распространение в практике сейсмической интерпретации получили такие методы как анализ мгновенных параметров и атрибутов когерентности. Для решения этой задачи в нашем центре используются атрибуты кривизны поверхности, вычисляемые по структурным картам. Теория кривизны, подробное описание и сравнительный анализ различных атрибутов приводится одним из авторов в работах [3,4]. Для вычисления атрибутов кривиз-

ны, рассмотренных в предыдущем разделе, сотрудниками ЦОИ (Артемьев А.Е., Федорчук Р.А.) было создано автономное приложение для персональных компьютеров под управлением операционной системы Microsoft Windows. Это приложение получило название "СМар". Схематично алгоритм работы программы "СМар" можно изобразить следующим образом:

- чтение исходных данных в формате XYZ;
- применение фильтра к исходным данным;
- вычисление коэффициентов уравнения (8);
- расчет атрибутов кривизны;
- нормировка результатов вычислений;
- запись результатов в файлы формата XYZ.

На вход программы подаются результаты структурной интерпретации сейсмических данных в виде текстовых файлов в формате XYZ, где X и Y – прямоугольные координаты, а Z – параметр. В качестве прямоугольных координат могут быть использованы реальные топографические координаты, либо номера X,Y линий 3D съемки. В качестве параметра могут быть приняты значения глубин или же времена T_0 сейсмических горизон-

тов. Программа дает возможность производить по желанию пользователя одновременный расчет всех атрибутов кривизны, либо только необходимых в данный момент для работы пользователя. Применение фильтра и нормировки также оставляется на усмотрение пользователя. Запись вычисленных атрибутов производится в директорию указанную пользователем в виде текстовых файлов в формате XYZ.

Для опробования программы "СМар" было выбрано одно из месторождений, расположенное в пределах Степновского мегавала, входящего в состав Рязано-Саратовского прогиба. В 2000 году силами ОАО "Саратовнефтегеофизика" на этом месторождении были проведены полевые сейсморазведочные работы методикой ОГТ-3D, проведена обработка в комплексе Geocuster. Геологической задачей работ являлось детальное изучение строения ловушки месторождения, картирование блоков, ограниченных разрывными нарушениями различной амплитуды. В 2001 году была выполнена миграция до суммирования в программном комплексе GeoDepth [2]. Фрагмент глубинно-динамического разреза через структуру приведен на рис. 8Б. Последним горизонтом, участвующим в построении глубинно-скоростной модели для пластовой миграции, являлось отражение от подошвы саргавских отложений (D_3^{st}). Этот горизонт был подвержен тектоническим нарушениям в предфаменскую фазу. Тектонические нарушения предфаменского возраста характеризуются значительными амплитудами и достаточно надежно трассируются даже по немигрированным данным. Наибольший интерес с точки зрения уточнения знаний о геологическом строении резервуара представляло изучение дизъюнктивных нарушений предтиманской фазы. С этой целью авторами и были использо-

ваны атрибуты, рассчитанные по программе "СМар". В процессе подготовки исходных данных были выполнены следующие операции:

- ручная корреляция каждой двадцатой X и Y линий горизонта D_{2vb} ;
- автоматическая корреляция указанного горизонта;
- фильтрация полученной карты в программе "СМар" на базе 3x3 трассы.

Полученная в результате этих действий карта приведена на рис. 8А. В центральной части карты хорошо просматривается положение поднятия. Для быстрого и эффективного определения местоположения разрывных нарушений, ограничивающих структуру, был произведен расчет атрибута кривизны. На рис. 8 показаны карты двух из них - K_+ и K_{dip} . Важным аспектом является представление результатов. Здесь необходимо выбрать оптимальный метод построения карты и тщательно подобрать цветовую палитру. Метод взвешенных сумм, первоначально использовавшийся авторами для построения карт атрибутов, оказался неподходящим для этой цели. Значительно лучшие результаты удалось получить с использованием алгоритмов крайинга. Что касается выбора палитры цветов, то здесь приходится использовать индивидуальную палитру для всех атрибутов на каждой исследуемой площади. Иногда, для лучшего отображения полученных результатов, целесообразно использовать процедуру нормировки, реализованную в программе "СМар". Как видно из рисунка, на карте атрибута K_+ отчетливо проявляется высокоамплитудное разрывное нарушение предфаменского возраста. Его положение с большой степенью точности совпадает с принятой моделью используемой для проведения миграции. Гораздо больший интерес для нас представляли нарушения предтиманского возраста. Анализ полученных карт атрибутов показал, что для изучения этих объектов наиболее целесообразным является использование карты атрибута K_{dip} . По результатам интерпретации полученных данных удалось уточнить положение разрывных нарушений контролирующих резервуар.

В качестве еще одного примера использования атрибутов кривизны для решения задач структурной интерпретации приведем пример по месторождению, расположенному в Муйнакском районе Республики Узбекистан. В 2007 году силами ОАО "Саратовнефтегеофизика" на этом месторождении были выполнены полевые сейсморазведочные работы методикой ОГТ-3D по площади 450 км². Данная площадь, в тектоническом отношении, приурочена к западной части Судочьего прогиба и восточному склону Куаныш-Коскалинского вала. На исследуемой

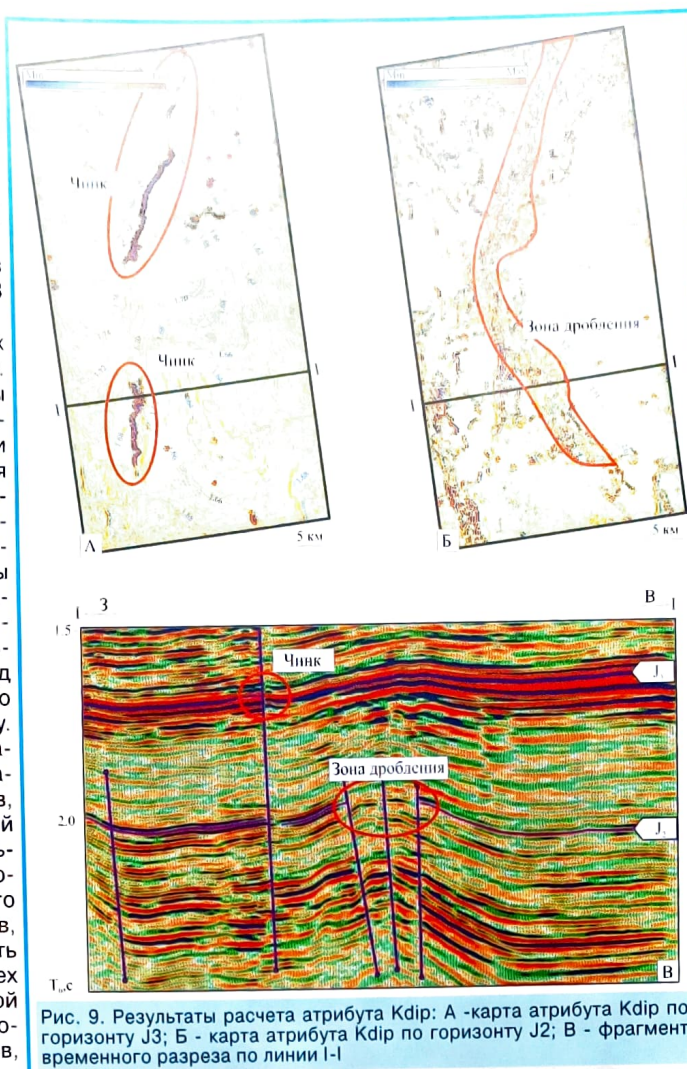


Рис. 9. Результаты расчета атрибута K_{dip} : А - карта атрибута K_{dip} по горизонту J3; Б - карта атрибута K_{dip} по горизонту J2; В - фрагмент временного разреза по линии I-I

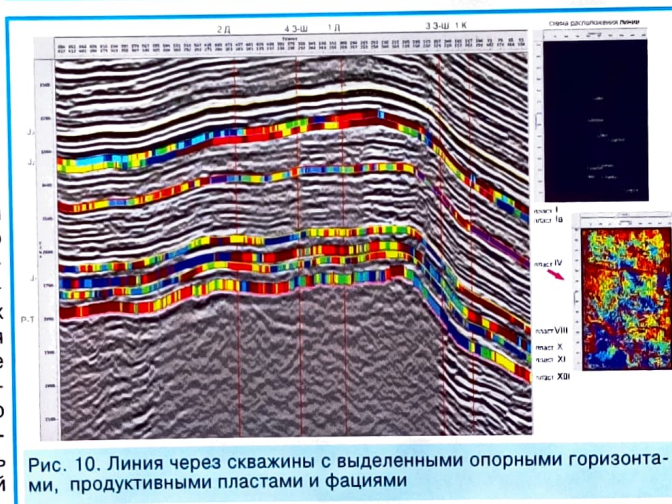


Рис. 10. Линия через скважины с выделенными опорными горизонтами, продуктивными пластами и фациями

площади отмечается наличие нескольких разновозрастных систем нарушений, соответствующих различным тектоническим фазам и секущих, как фундамент, так и низы осадочного чехла. Имеются и сквозные нарушения, затрагивающие весь разрез осадочного чехла. В частности, в пределах 3D-съемки прослеживается четкое дизъюнктивное нарушение, имеющее наибольшую интенсивность по нижнеюрским горизонтам. Вверх по разрезу амплитуда нарушения несколько уменьшается. По поверхности данное нарушение коррелируется с зоной крутого

СТРУКТУРА И ЗАДАЧИ ГВИ

ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР

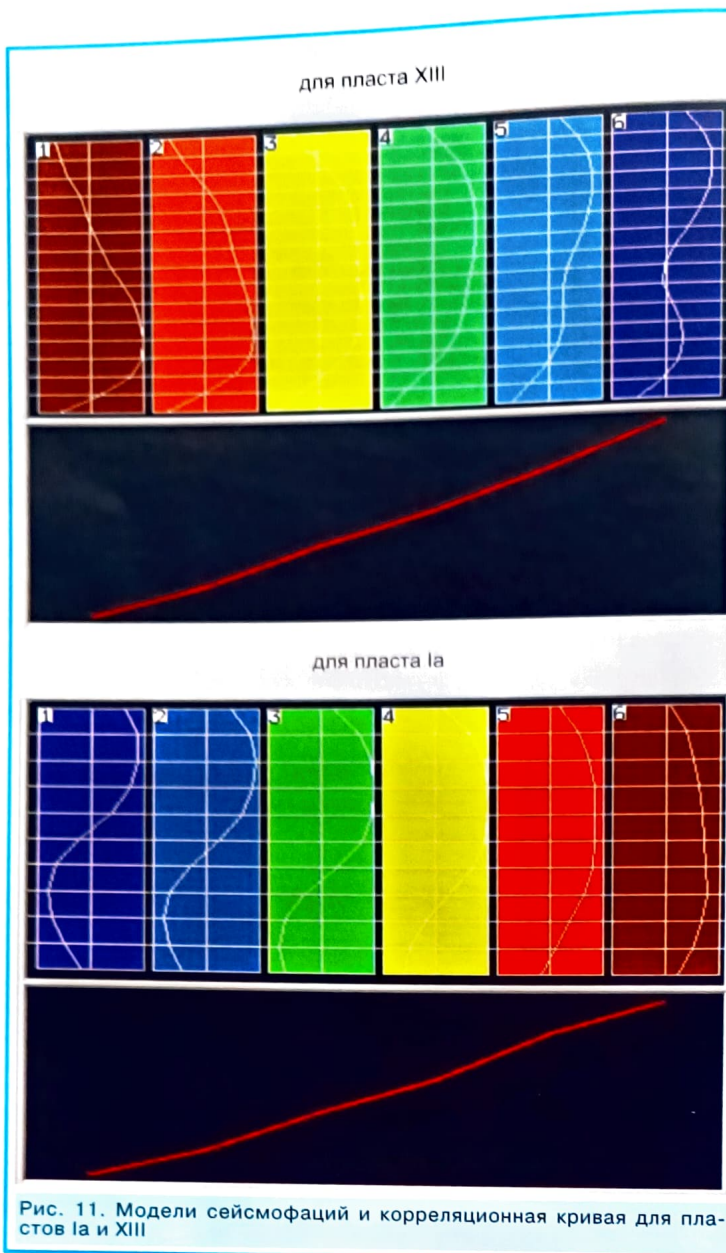


Рис. 11. Модели сейсмofаций и корреляционная кривая для пластов Ia и XIII

склона (чинка) разделяющего плато Устюрт и равнинную территорию долины реки Амударья, а также прибрежной зоны Аральского моря.

Фрагмент временного разреза по линии I-I 3D-съемки показан в нижней части рис. 9. В верхней части разреза отчетливо прослеживается отражающий горизонт J_3 , связанный с кровлей юрского комплекса (кровлей кимериджитаона). Этот горизонт характеризуется наличием высокоамплитудного дизъюнктивного нарушения, обозначенного на рисунке как "чинка". По ниже залегающим горизонтам наблюдается множество разрывных нарушений, в том числе зона тектонического дробления.

Исходя из опыта предыдущих работ, связанных с анализом атрибутов кривизны, для изучения систем разрывных нарушений авторами был выбран атрибут K_{dip} . На рис. 9 приведены карты атрибута K_{dip} по горизонтам J_3 и J_2 . Изолиниями показаны линии равных времен, измеряемые в секундах. На рис. 9 А отчетливо выделяется зона "чинка". На рис. 9 Б хорошо проявляется разновозрастные системы нарушений, затрагивающие горизонт J_2 .

Сейсмofациальный анализ

Целью сейсмofациального анализа является

восстановление обстановки конакпления и прогноз литологии по данным сейсмofациального анализа. Основой для этого являются данные о том, что латеральные и вертикальные изменения литологических и петрофизических параметров осадочной толщи приводят к изменениям физических параметров сейсмического сигнала, что в свою очередь оказывает влияние на характер прослеживаемости горизонтов и форму сейсмического импульса. Задача сейсмofациального анализа – выделение сейсмofаций на основе анализа сейсмofической волновой картины. В настоящее время, благодаря доминирующей роли трехмерной сейсмofаведки, значительному улучшению качества регистрируемых данных и последним достижениям в области обработки и интерпретации, удалось добиться более детального расчленения разреза. Если раньше под «сейсмofацией» понимали пакет отражений, то сейчас сейсмическая фация может быть идентифицирована по форме записи одиночного отражения и связана не только с внутренней структурой, но и с тонкими особенностями осадконакопления.

Сейсмofациальный анализ выполняется в системе Stratimagic компании Paradigm Geophysical. Материалом для интерпретации обычно служит куб данных, полученный в результате миграции до суммирования во временной области.

Первый этап работы включает в себя определение сейсмических комплексов, которые объединяют относительно согласно залегающие и генетически связанные отложения. Для этого должны быть построены и изучены срезы относительно опорных горизонтов и пропорциональные срезы между соседними опорными горизонтами, что позволяет сконцентрироваться на целевых интервалах, выделить интервалы развития палеорусел. Для определения продуктивных интервалов используются скважинные данные. После изучения и тестирования, выбираются оптимальные интервалы анализа, показанные на рис. 10.

Второй шаг представляет собой более детальный сейсмofациальный анализ внутри определенного интервала. На данном этапе работ формы сигналов группировались в дискретные «сейсмofации». Сейсмическая фация – единица (сейсмofация) объединяет группу отражений, характеризующихся схожим набором параметров, таких как конфигурация, непрерывность, амплитуда, частота и т.д. Каждый параметр несет определенную информацию о геологическом строении изучаемого интервала. Конфигурация отражений тесно связана с основными характеристиками напластования, непрерывность отражений – с непрерывностью пластов, амплитуда показывает соотношение плотности и скорости, частота зависит от мощности пластов.

Наиболее эффективна классификация уча-

стков трасс по их форме с использованием технологии нейронных сетей (SISMAGE™ Neural Network Technology - NNT), которая позволяет определять, анализировать и интерполировать детальные характеристики коллекторов, не выявляемые другими способами. В основе NNT лежит применение самоорганизующейся нейронной сети для распознавания и оценки изменения формы сейсмического сигнала в изучаемом интервале. Способность NNT выявлять устойчивые зависимости в условиях встречающихся помех и отражать все тонкости сейсмического волнового поля позволяет повысить точность результата при оценке коллекторов и геометрии их границ.

Классификация производилась в несколько этапов:

1. Обучение: используя серию итераций, идентификацию отдельных форм сейсмических трасс и создание набора синтетических трасс, изменяющихся при каждой итерации. Форма определяется как функция скорости изменения трассы от одного её отсчета к другому, т.е. наклонами отрезков трассы между соседними отсчетами. В связи с этим абсолютные значения амплитуды трассы менее значимы, чем её форма. Модели трасс являются искусственным представлением классов по учебному набору трасс. Они хранятся в виде последовательных серий.
2. Классификация: последовательное сравнение смоделированных классов с реальными сейсмическими данными по трассам. В результате чего, каждой реальной трассе присваивается номер и цвет класса «сейсмофаций», наиболее соответствующий ей.

Прямой корреляции между определенным типом рисунка волновой картины и литологическим составом пород не существует. Так, например, низкоамплитудные отражения могут соответствовать как очень тонким пластам, так и зонам развития пород одного литологического типа: песчаникам или глинам. Однако, анализ изменяющихся характеристик отражений в комплексе со всеми

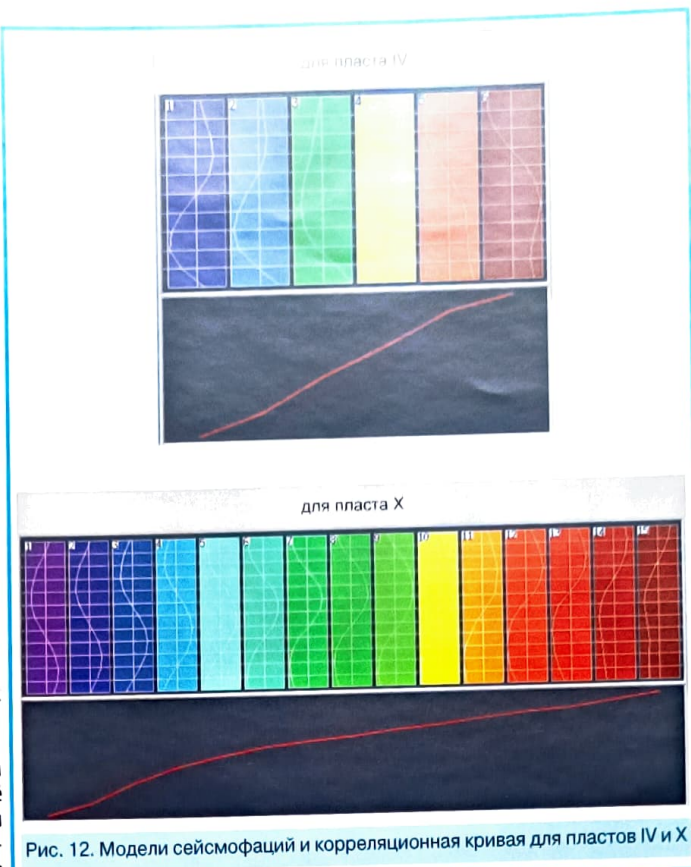


Рис. 12. Модели сейсмофаций и корреляционная кривая для пластов IV и X

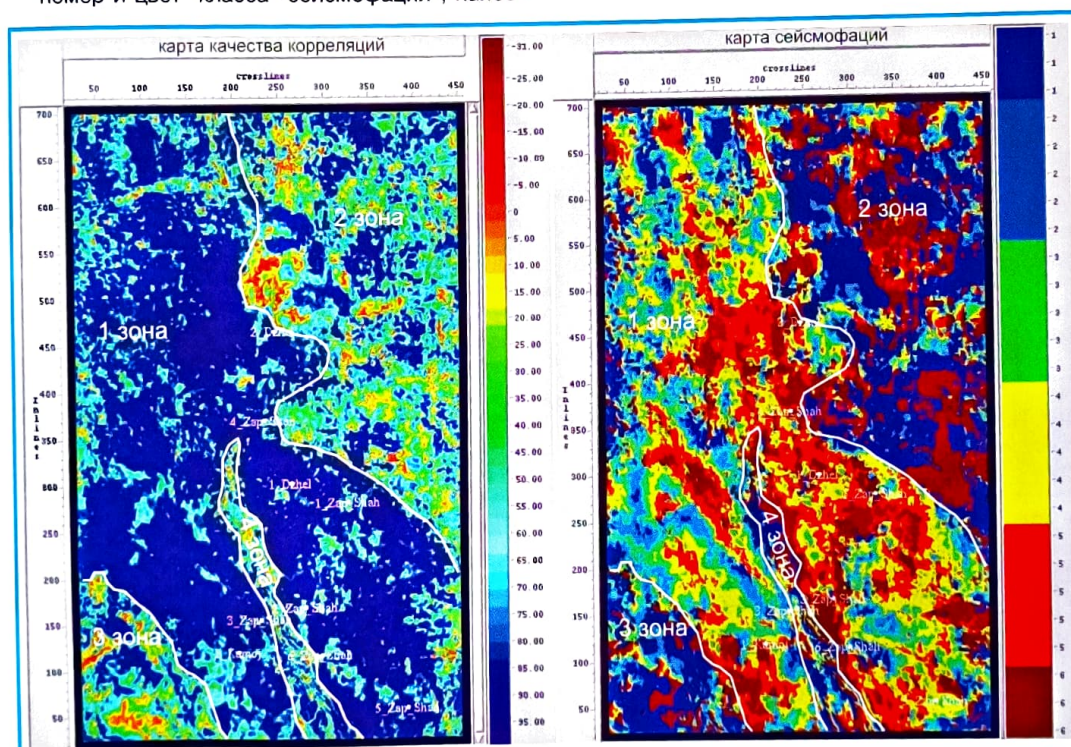


Рис. 13. Сопоставление карты качества корреляции и карты сейсмофаций с выделенными зонами для пласта X

ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР СТРУКТУРА И ЗАДАЧИ ГВИ



ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР

СТРУКТУРА И ЗАДАЧИ ГВИ

имеющимися данными, в первую очередь данными ГИС, керна, опробований, позволяют сделать предположения об условиях осадконакопления и получить приемлемые оценки литологии.

Окончательным результатом расчетов являются карты сейсмостратиграфии и наборы модельных трасс, которые совместно описывают разнообразие форм сигналов по всей площади в исследуемом интервале.

Удобным способом контроля за процессом автоматической классификации и своевременной поправки для интерпретации полученных результатов является расчет и анализ ряда стандартных карт, графиков и кросс-плотов. Примером может служить расчет корреляционной кривой, представляющей собой последовательность коэффициентов корреляции i -й и j -й модельных трасс как функций разности $|i - j|$ номеров этих трасс. В идеале это должна быть прямая линия, отображающая уменьшение коэффициента корреляции пары трасс по мере роста разности $|i - j|$ (кривая красного цвета на рис. 11).

Интерпретация данной линии обуславливается выбранным количеством классов фаций. Если корреляционные линии кривые, то этому может быть несколько объяснений:

- недостаточное число итераций при выборе последовательности модельных трасс (этап 2);
- слишком мало модельных трасс;
- в выбранном интервале разреза трассы имеют ограниченное количество N основных форм с несколькими промежуточными формами или совсем без них. В таком случае, корреляционная кривая может быть использована как индикатор наличия N (двух или более) различных геологических сред.

На рис. 11 по интервалам листов 1а, XII корреляционная кривая – прямая линия или отклоняется. На рис. 12 по интервалам листов IV и X корреляционную кривую можно подразделить на участки с разным наклоном. Выделяем 3 зоны для пласта IV – сине-голубая зона, красно-коричневая и желто-зеленая переходная зона, что позволяет выделить отдельные зоны на карте сейсмостратиграфии. Для пласта X – на корреляционной кривой отделить можно выделяется сине-фиолетовая зона (рис. 12).

В качестве результата получения также карты корреляции, показанная на рис. 13. В процессе классификации каждая сейсмическая трасса сравнивается с модельными трассами, и ей присваивается цвет и номер модельной трассы с наилучшей корреляцией. Синим цветом показана высокая корреляция модельных и реальных трасс.

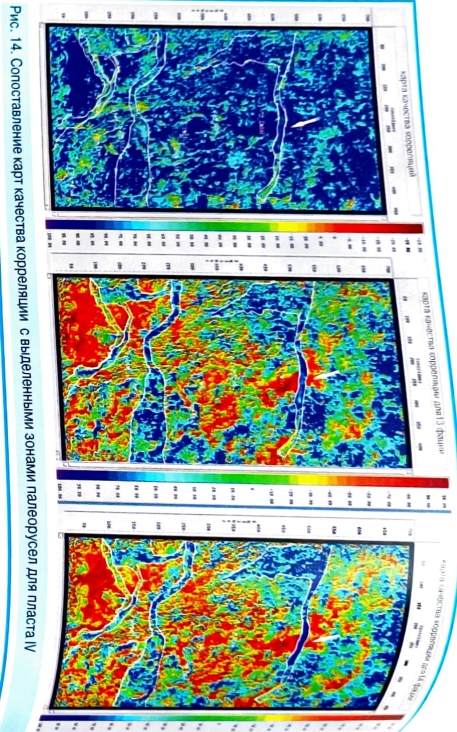


Рис. 14. Отображение карт качества корреляции с выделенными зонами палеогеографии для пласта IV

красным цветом, соответственно, низкая корреляция. Однако определенными фациями в некоторых случаях может соответствовать явно выделяемая область «плохой» корреляции, связанная с хаотичным разломом а также палеоразломами. Этот фактор может служить индикатором разнообразия форм заломов.

Кроме вышеописанных карт, рассчитываются карты корреляции всех трасс для каждой модели отдельно. Количество таких карт соответствует количеству классов для модели фаций. Их анализ также поможет выделить зоны с подобными и резко отличающимися условиями осадконакопления. На рис. 14 по всем картам качества корреляции, в пределах северного палеоразлома выделяется зона, названная стрелкой.

Полученные в ходе сейсмостратиграфического анализа результаты в совокупности со всеми накопленными материалами, становятся основой, для проведения геологической интерпретации, включающей описание структурной и формационной модели строения площади работ, комплексирование сейсмостратиграфии и других геофизических методов и в конечном итоге оценки перспектив нефтегазоносности.

Владен современными аппаратными средствами, технологичными обработкой и интерпретацией данных, мы оптимально сможем на повышение возможности сейсмостратиграфии в решении геологических задач в разнообразных сейсмогеологических условиях.

Литература

1. Артежеев А.Е. Опыт применения публичной информации на основе волнового уравнения в условиях разветвления сложноподольной тектоники // Проблемы и системы разведочной геофизики №04(14)/2005 С.20-30.
2. Артежеев А.Е., Гавриков А.Г., Федорчук Р.А. К вопросу о необходимости применения 3D моделирования в платформенных условиях // Проблемы и системы разведочной геофизики №04(14)/2005 С.30-44.
3. Артежеев А.Е., Федорчук Р.А. Атрибуты кривых и их использование для картирования дислокационных нарушений // Геофизика, №5 2006 – С.16-21.
4. Артежеев А.Е., Федорчук Р.А. Использование атрибутов кривых для решения задачи структурной интерпретации // Проблемы и системы разведочной геофизики №02(24)/2008 – С.21-25.
5. Особова К.Н., Запорожских М.А., Барилин Д.А. и др. Оценка сейсмостратиграфических материалов во множестве и глубине // Проблемы и системы разведочной геофизики №04(14)/2005 С.20-25.