

## Особенности планирования и проведения сейсморазведочных работ МОГТ 3D в пределах передовых складок Урала

■ Захаров Ю.М., ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг», г. Пермь.

■ Спешиллов В.И., ПАО «Пермнефтегеофизика», г. Пермь.

Регионы с богатой историей развития нефтяной промышленности в определённый момент сталкиваются с тем, что все «удобные» территории уже изучены геологоразведочными работами. Под «удобными» мы подразумеваем территории с относительно развитой инфраструктурой и спокойными ландшафтными условиями.

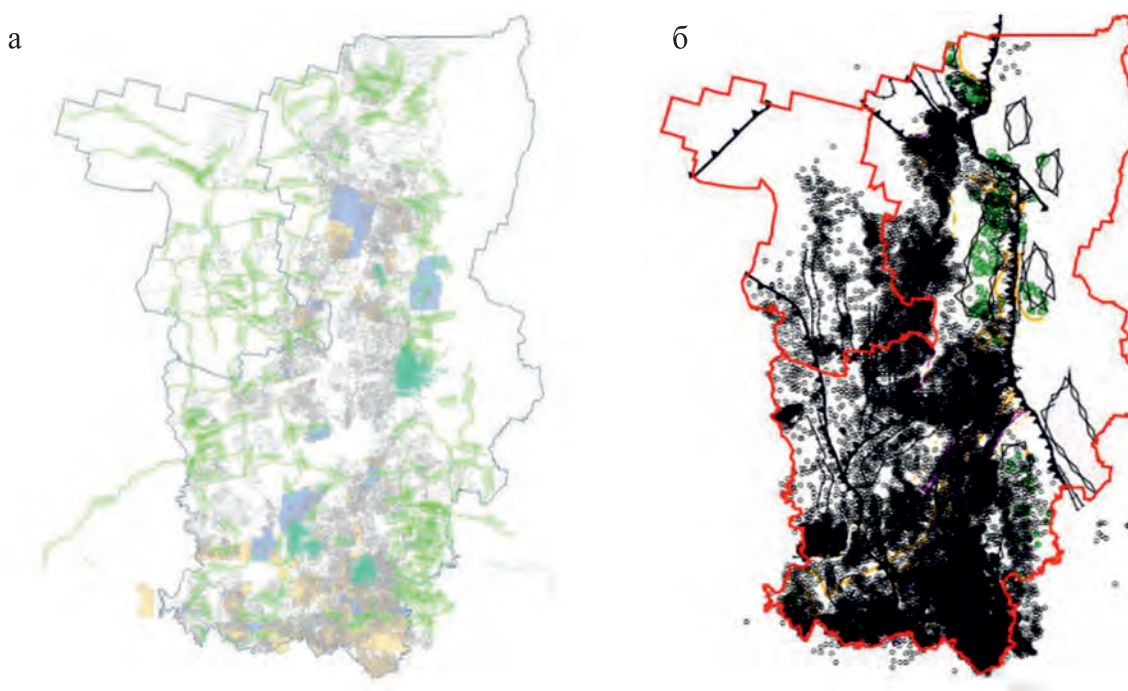
Пермский край является ярким представителем таких регионов. Первая нефть на его территории, получена Московским геологом Павлом Ивановичем Преображенским в 1929 году при бурении скважины №20 в Верхнечусовских Городках. Спустя 21 год, в 1950 г. создана Молотовская государственная контора геофизических разведок «Молотовнефтегеофизика» на основе Молотовской комплексной экспедиции прикладной геофизики (организована 15.04.49 г.)

в составе двух сейсморазведочных партий. За 75 лет территория Пермского края покрыта плотной сетью сейсморазведочных работ, скважинами структурного и глубокого бурения (Рис. 1).

На представленной схеме изученности хорошо заметна территория имеющая потенциал для проведения геологоразведочных работ, находящаяся в пределах восточной окраины Пермского края и связанная с развитием передовой складчатости Урала.

Урал — одна из самых крупных горных систем мира, протянувшаяся от побережья Северного Ледовитого океана до границ Казахстана. Его передовые складки представляют собой систему антиклинальных структур, образованных в результате тектонических процессов, происходивших миллионы лет назад. Горная местность Урала пересекается

▼ Рис. 1. Изученность территории Пермского края сейсморазведкой (а), структурным бурением (б)





◀ Рис. 2.  
Ландшафтные  
условия  
территории  
ПСУ.

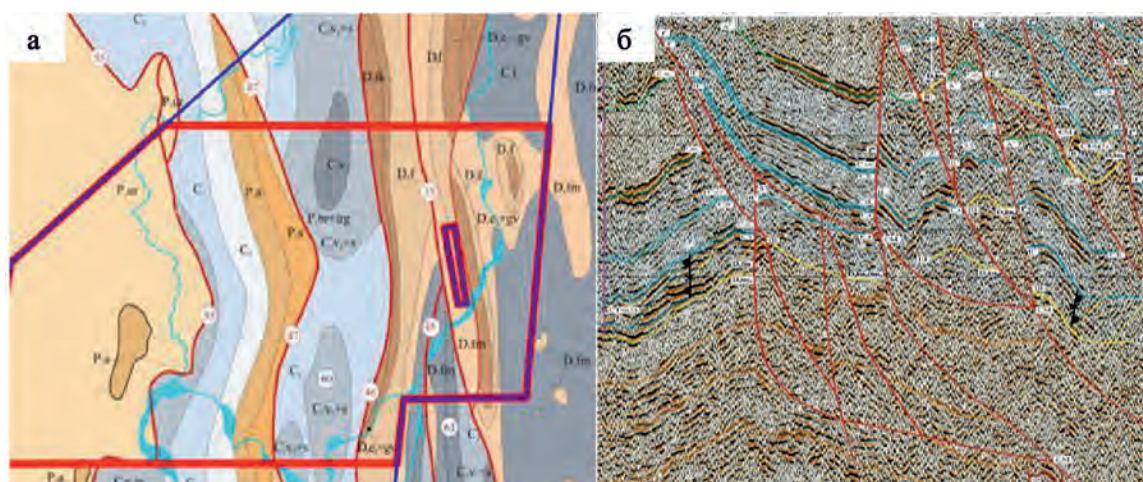
многочисленными реками и ручьями, покрыта густыми лесами. На юге горы постепенно сменяются холмами и равнинами, а леса уступают место степям. Наличие почти не замерзающих рек, оврагов, скал, лес и болот делает проведение сейсморазведочных работ в таких местах крайне сложным (Рис. 2).

Геологическое строение исследуемой территории представлено мощной толщей пород, начиная от четвертичных отложений и заканчивая кристалличес-

ким фундаментом. Территория характеризуется сложной структурой как в тектоническом, так и в литолого-стратиграфическом отношении, где на поверхности земли встречаются отложения пермского, каменноугольного и девонского периодов, сильно деформированные в складки (Рис. 3).

Проведение геофизических исследований на передовых складках Урала (ПСУ) традиционными методами сейсморазведки достаточно трудоёмко и требу-

▼ Рис. 3. Геологические условия района работ: фрагмент геологической карты Пермского приуралья (а), фрагмент волнового поля (б).





ет значительных инвестиций и затрат на оборудование и технологии. Кроме того, рубка просек и последующее бурение большими буровыми станками приводят к образованию отходов, которые могут негативно влиять на окружающую среду, привести к экологическим последствиям. Поэтому при проведении сейсморазведочных работ необходимо учитывать экологические аспекты и принимать меры по минимизации ущерба природе.

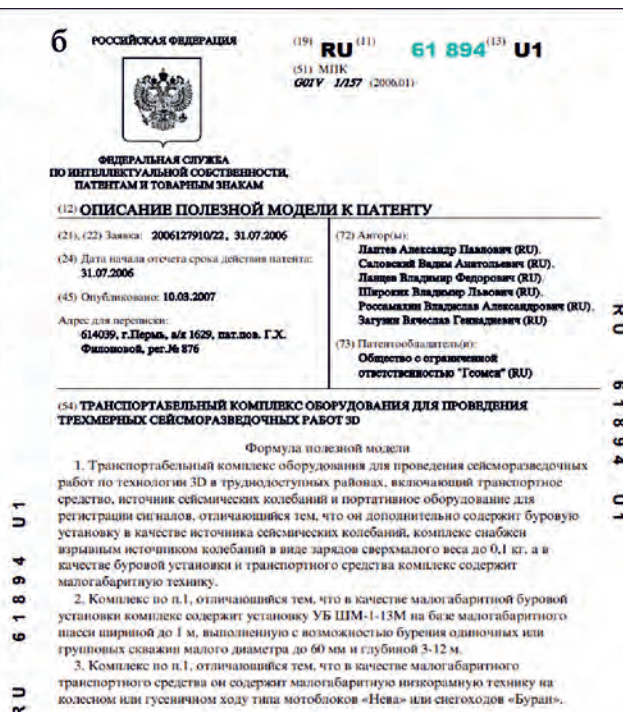
Для решения этих задач целесообразно применение более адаптивных и инновационных подходов к проведению сейсморазведки. Описываемые в данной статье работы проводились по экологосберегающей технологии [1]. Это позволило охватить геологоразведкой ранее недоступные для изучения районы.

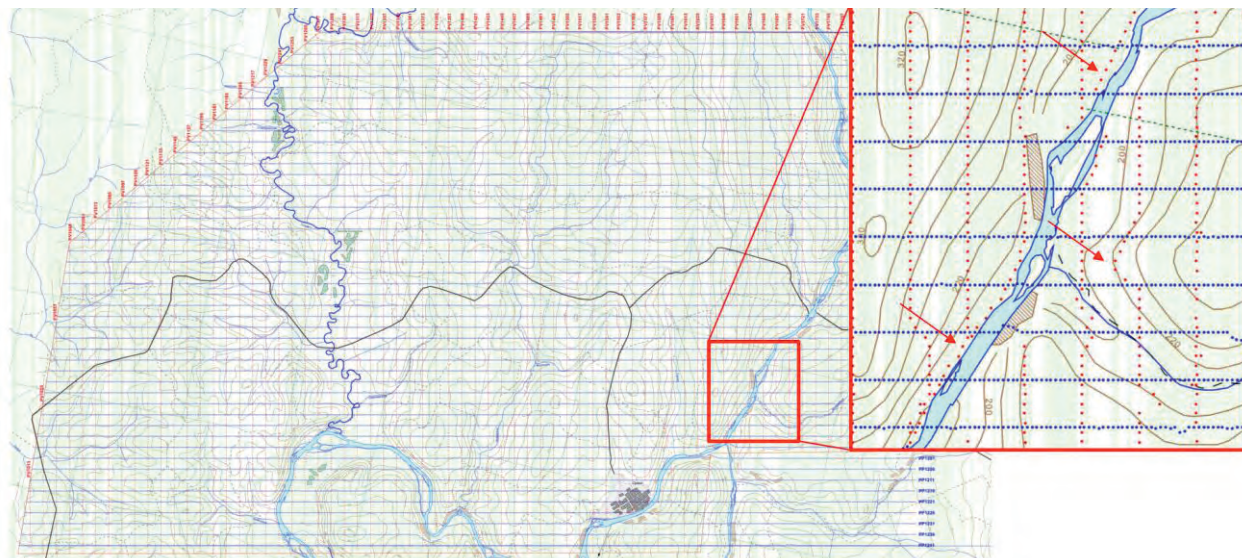
Работы велись с использованием природосберегающих технологий, исключая рубку просек для тяжелой техники. Перемещение оборудования и техники осуществлялось исключительно на автомобилях высокой проходимости

по существующим лесным дорогам. Отсутствие необходимости в вырубке просек усложнило процесс прокладки сейсмических кабелей и установки сейсмоприёмников, поскольку все работы выполнялись вручную. Однако это позволило сократить общее время реализации проекта благодаря отсутствию этапа отвода лесных участков, расчистки просек и их подготовки. Оборудование доставлялось на лыжах по визиркам, а сейсмоприёмники устанавливались на плотную утрамбованную поверхность, обеспечивающую надёжный контакт с почвой.

Бурение взрывных скважин проводилось малогабаритными буровыми установками типа УБШМ1-13 (Рис. 4). В лесу работы проводились по визиркам шириной до одного метра, поэтому бурение скважин малого диаметра происходило в стесненных условиях. Перемещение установок «УБШМ-1-13» вдоль профиля осуществлялось с помощью снегоходов «Буран». Так как специальных работ по

▼ Рис. 4. Процесс бурения взрывных скважин малогабаритной буровой установкой УБШМ 1-13 (а), патент на технологию экологосберегающей сейсморазведки (б).





▲ Рис. 5. Схема фактически отработанных профилей.

выравниванию створа визирок не производилось, на отдельных участках перемещение производится с помощью лебедок и усилий буровой бригады. Часто, ввиду невозможности достичь нужной глубины, приходилось переносить профили бурения в такие участки, где условия позволяли погружать заряд на глубины в соответствии с техническим заданием.

Использование малогабаритных буровых установок позволило расположить пункты возбуждения (ПВ) сейсмических волн практически по регулярной сети профилей, незначительные выносы ПВ допускались только в связи с наличием незамерзающих рек или крайне градиентных форм рельефа (рис. 5).

Следует отметить, что использование малогабаритных буровых установок накладывает ограничения на максимальную глубину взрывных скважин, как правило составляющую 8-10 метров. Таким образом, условия размещения заряда не самые оптимальные, так как подошва зоны малых скоростей (ЗМС) не пройдена, а классическая взрывная сейсморазведка призывает размещать заряд ниже ЗМС. Однако, учитывая геологическое строение района ПСУ, выход на поверхность древних пород девонского возраста, традиционной ЗМС

на площади работ нет. Данный факт, в совокупности с минимизацией экологического ущерба и оптимизацией стоимости работ позволяет говорить о жизнеспособности выбранной методики проведения сейсморазведочных работ.

По мимо учёта поверхностных условий, на этапе планирования необходимо было учесть и все сложности геологического строения района работ. Район исследований характеризуется развитием густой сети надвигов с образованием многочисленных принадвиговых антиклинальных и синклинальных структур и структур, нарушенных этими надвигами. Антиклинали и синклинали имеют линейную, вытянутую форму, либо представляют собой брахискладки. На всей площади волновая картина не проста для интерпретации, что обусловлено сложным геологическим строением площади исследований. Палеозойский осадочный чехол разделяется на поднадвиговые (автохтонные) и надвинутые (аллохтонные) блоки, которые хорошо отображаются в волновом поле. По волновой картине уверенно выделяются однотипные толщи с зонами перекрытия, разделенные надвигами. На самом востоке площади на поверхность выходят (согласно геологической съемке), в

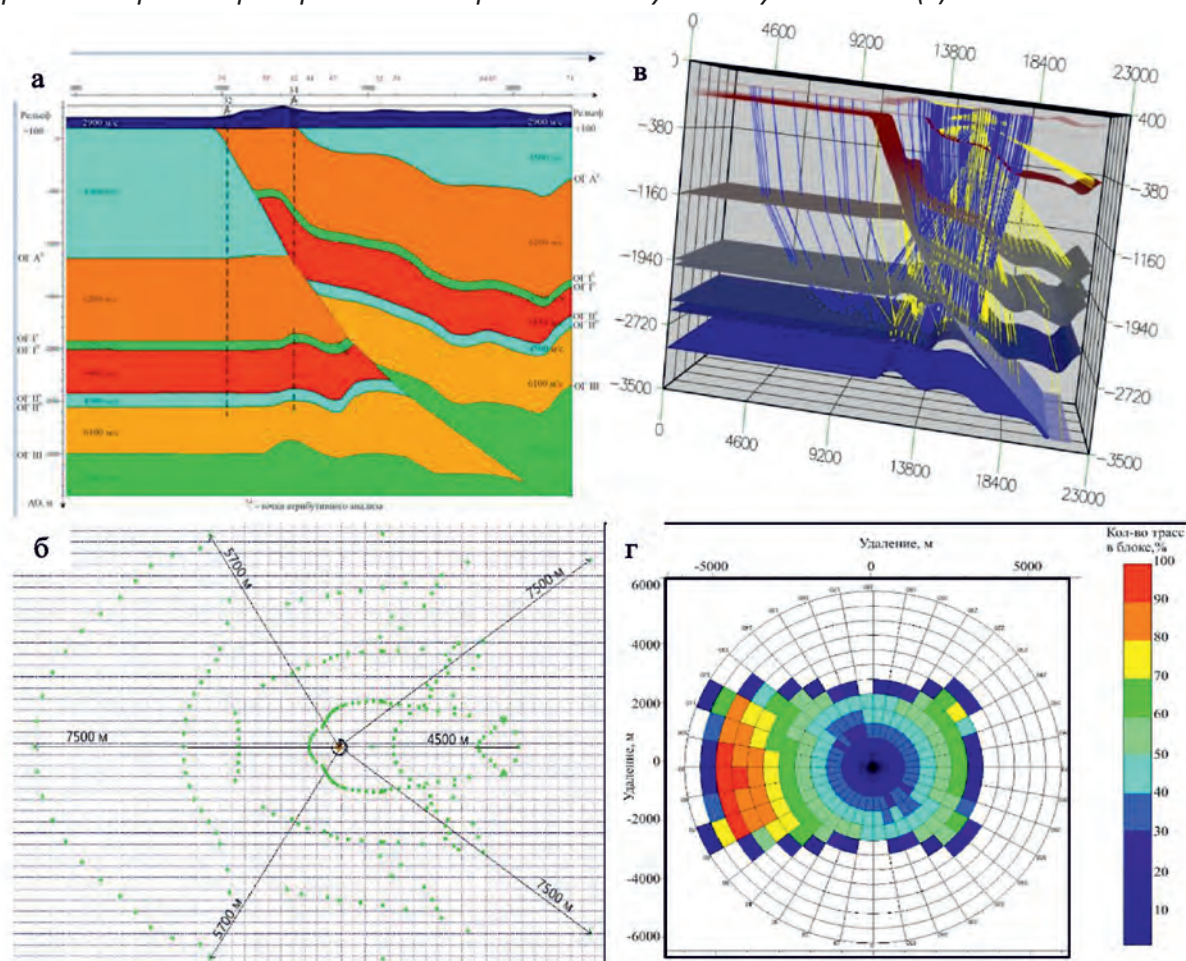


основном, карбонатные отложения более древнего возраста (карбона, девона) с крутыми углами падения, альтитуды рельефа достигают отметок более 300 м. На таких участках происходит рассеивание энергии упругих колебаний, в результате чего волновые поля характеризуются почти полным отсутствием отраженных волн. Имеющиеся оси синфазности в этой части площади коррелируются фрагментарно и отождествлены условно по волновой картине и с учетом данных геологической съемки. В самой восточной части площади имеется зона с отсутствием коррелируемых осей синфазности по всему временному интервалу (рис. 3.б).

Для определения системы наблюдения, способной решить стоящие задачи,

была построена глубинно-скоростная модель (ГСМ) площади работ (рис. 6.а) и проведена процедура лучевого трассирования, что позволило рассчитать атрибуты съёмки максимально достоверно. Затем были смоделированы траектории хода лучей. На рисунке 6(б) зелеными точками представлены контуры выхода на поверхность отраженных лучей для пункта возбуждения находящегося на дневной поверхности в зоне надвига и перспективных структур. На рисунке 6(в) продемонстрирован ход лучей в глубинном объеме. Очевидно, что сложно построенная среда приводит к существенному отклонению хода лучей от нормального. Кроме того, появляется большое количество недействительных лучей (лучи, которые на дневную повер-

▼ Рис. 6. Выбор оптимальной системы наблюдений: ГСМ участка работ (а), точки выхода на дневную поверхность действительных лучей (б), ход лучей в глубинном объеме (в), роза-диаграмма распределения трасс по азимутам и удалениям (г).



хность не возвращаются) выделенных желтым цветом.

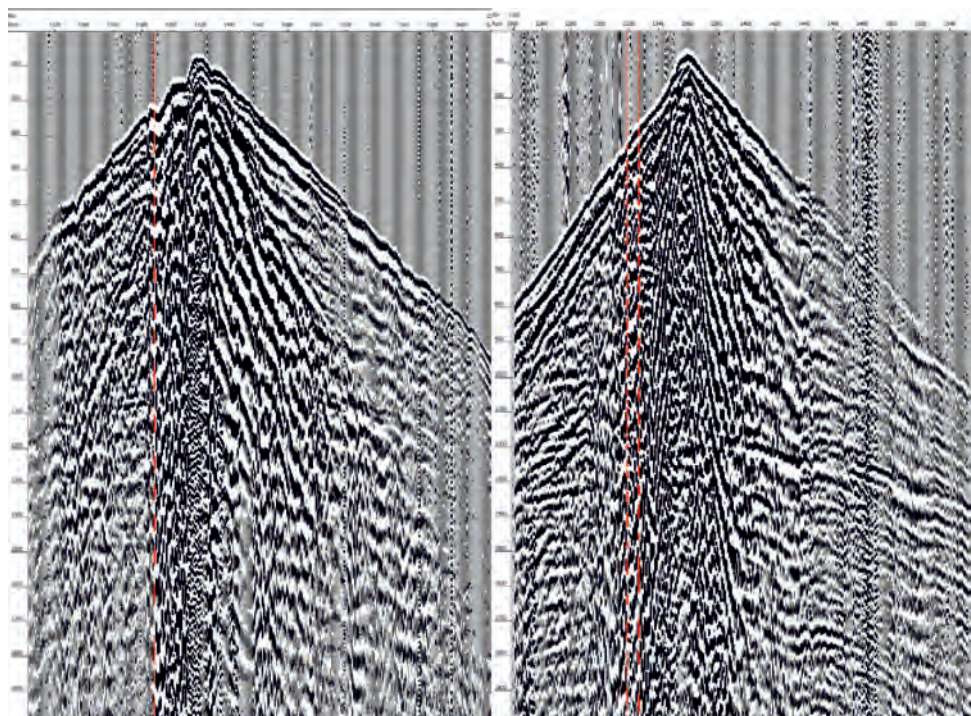
Для компенсации влияния надвиговых формаций на ход лучей упругих волн была смоделирована асимметричная приёмная расстановка, с увеличенными, относительно стандартных для Пермского края съёмок, максимальными удалениями. Роза диаграмма распределения трасс по азимутам и удалениям смоделированной системы наблюдений представлена на рисунке 6(г).

В результате проведённых работ получены полевые сейсмограммы различного качества, зависящего от литологического состава выходящих на дневную поверхность горных пород и геологического строения недр. На рисунке 7 приведены фрагменты сейсмограмм, зарегистрированных в различных частях площади работ. Отчётливо заметно сложное поведение первых вступлений преломленных волн, связанное с градиентным рельефом дневной поверхности, цуг интенсивных звуковых и поверхностных волн – помех. На всём материале наблюдается интенсивный

средне- и низкоскоростной линейный шум. Полевой материал разнороден по динамическому и частотному составу на разных участках площади. Форма годографов отражённых волн достаточно сложная.

В ходе мониторинга полевых работ отмечена низкая производительность, не позволяющая удерживаться в сроках календарного плана. Анализируя причины, было выяснено, что ввиду очень сложной логистики и ручной раскладки оборудования, время непосредственной регистрации составило малую часть от всего времени исследований. Основной объём времени проведения работ, занимала смотка/размотка и наладка наземного полевого оборудования. Стандартно данные процессы занимают не более 50% рабочего времени. При этом стандартная производительность предполагает регистрацию сейсмических данных порядка 40% времени. Учитывая данное наблюдение, при производстве будущих полевых сейсморазведочных работ в схожих условиях обоснованным шагом стало бы внедрение и эксплуатация бескабельной

▼ Рис. 7. Фрагменты характерных полевых сейсмограмм.





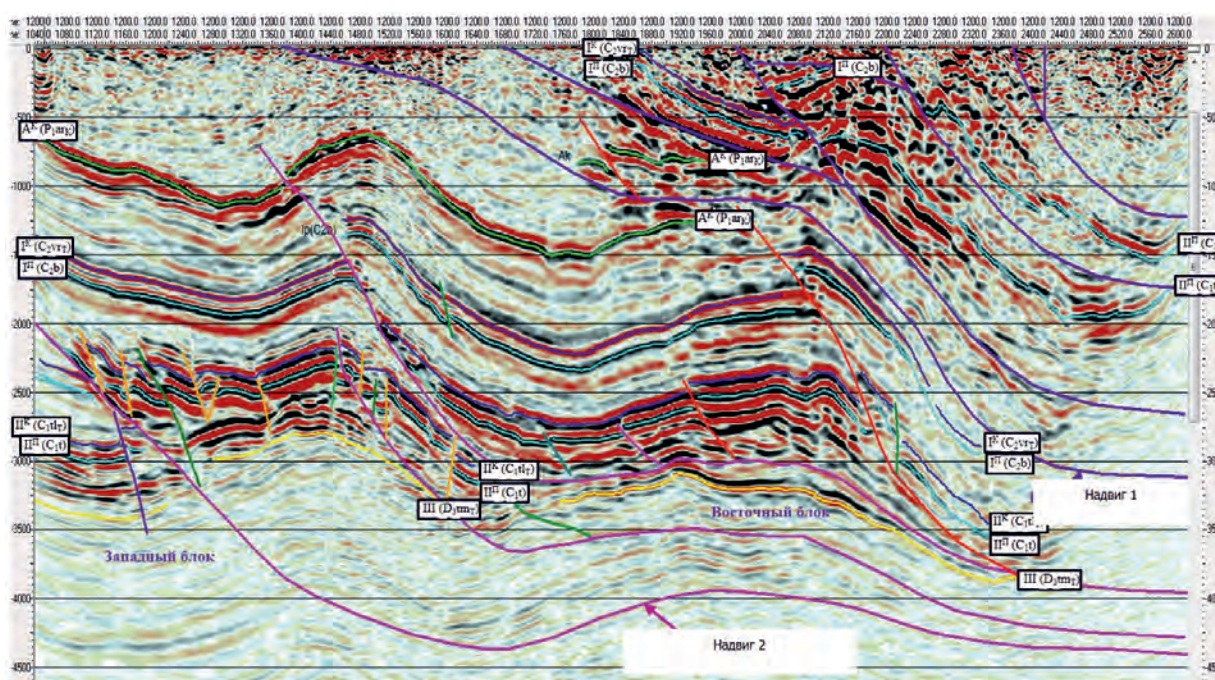
регистрирующей системы для повышения эффективности и экологичности процесса. Примером бескабельных систем регистрации сейсмических данных может послужить отечественный ПАК «Геотом», успешно испытанный в производственных работах ПАО «Пермнефтегеофизика» [2,3]. Такие системы позволяют работать без дополнительного использования техники, сводя к минимуму число операций, необходимых для настройки и обслуживания приемных линий.

Полученные полевые сейсмограммы в полном объеме были приняты в обработку, качество данных оценено, как удовлетворительное. В процессе обработки был применен расширенный комплекс процедур, позволяющий максимально повысить отношение сигнал/помеха и сохранить динамические особенности волнового поля. Особо стоит отметить построение и уточнение глубинно-скоростной модели для проведения глубинной миграции до суммирования, многие особенности волнового поля проявили себя только на финальном этапе обработки. На рисунке 8 представлен фрагмент результирующего куба. Сопоставление с

волновым полем, ранее полученным по материалам сейсморазведочных работ МОГТ 2D представлено на рисунке 9.

В результате интерпретации были построены структурные карты и карты изохрон целевых отражающих горизонтов, карты толщин между целевыми отражающими горизонтами. Значительно уточнена и детализирована структурно-тектоническая модель исследуемой площади. В пределах рамки работ достаточно уверенно протрассированы основные надвиги. По волновому полю установлено, что базовые надвиги осложнены системой опережающих разрывных нарушений различного ранга, связанных с процессами сжатия и трансгрессии. В осадочном чехле выделены поднадвиговый (автохтонный) и надвинутые (аллохтонные) блоки, которые доказательно отображаются в волновых полях. Тектонические элементы, выделенные по сейсмическим данным, согласованы с материалами геологической съемки. Выявлено несколько структур и приподнятых участков. Поставленные геологические задачи были решены.

▼ Рис. 8. Фрагменты финального куба (срез в направлении inline).





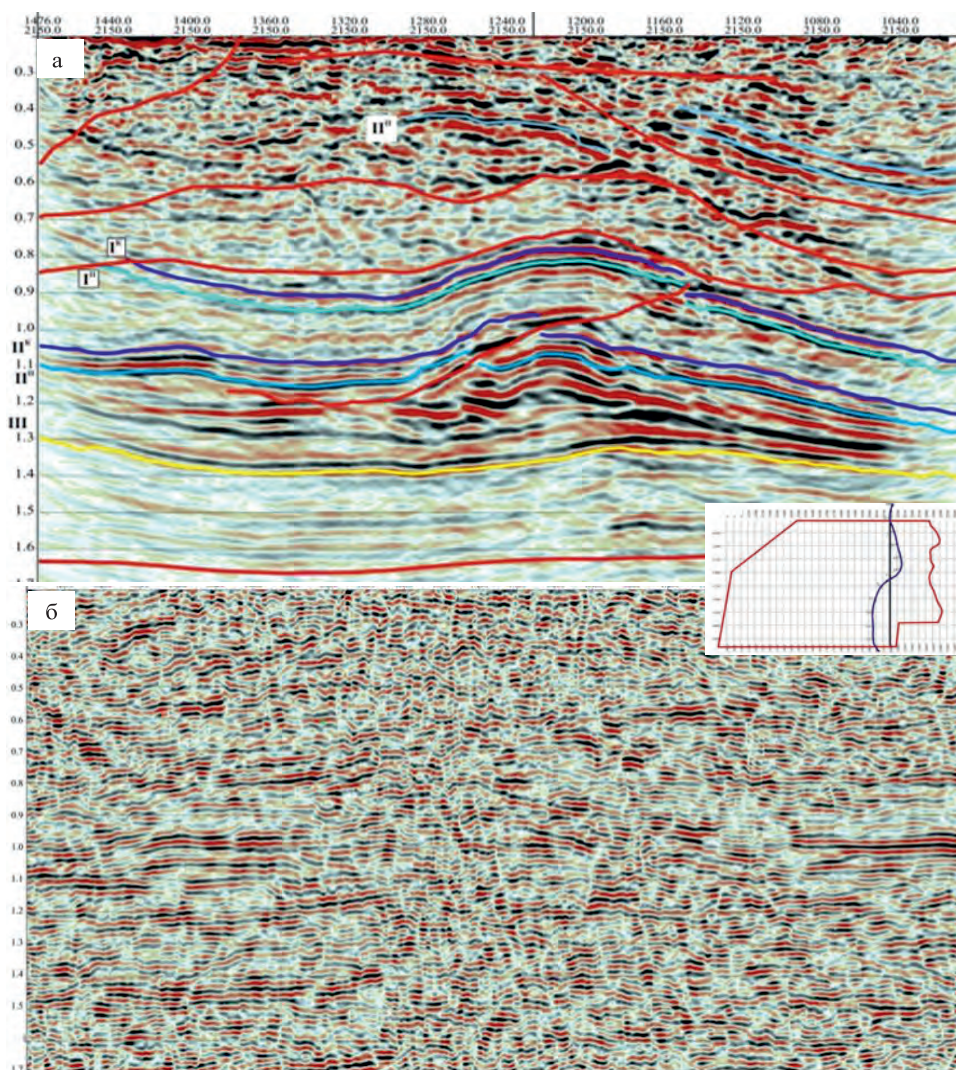


Рис. 9.  
Сопоставление  
среза полученного  
куба (а)  
с результатом  
работ МОГТ 2D  
прошлых лет (б)  
(срез в направлении  
cline).

### Выводы

1. Изучение геологически сложно построенных территорий необходимо проводить с помощью сейсморазведки МОГТ 3D, данные 2D не позволяют получить интерпретируемое волновое поле.

2. Требуется расширенное тестирование процедур обработки для получения адекватного результата.

3. Целесообразно использовать облегченные варианты регистрирующего оборудования для облегчения работ.

4. Применение малогабаритных буровых станков позволяет проводить сейсморазведочные работы на сложных, эксклюзивных территориях.

5. Актуально комплексирование кабельного и бескабельного регистрирующего оборудования на труднодоступных участках.

### Подробнее об авторах



Захаров  
Юрий Михайлович

Ведущий геофизик  
Управления сейсмических  
исследований, ООО  
«ЛУКОЙЛ-Инжиниринг»,  
г. Пермь.



Спешилов  
Василий Иванович

главный инженер,  
ПАО «Пермнефтегеофизика».