

Интегрированный подход к реализации крупномасштабных широкоазимутальных сейсморазведочных проектов от планирования до выполнения работ

- Ужакин Б. А., ООО СП «Волгодеминойл», г.Волгоград
- Горбачев С. В., ООО «ЛАРГЕО НефтеГазСервис», г.Москва
- Кобзарев Г. Ю., ОАО «ЛУКОЙЛ», г.Москва
- Волков В. Р., ОАО «Волгограднефтегеофизика», г.Волгоград
- Егоров А. А., ООО «ЛАРГЕО НефтеГазСервис», г.Москва
- Костин Т. В., ООО СП "Волгодеминойл", г.Волгоград

Введение

Геологоразведочные работы (ГРР) используются нефтегазовыми компаниями в первую очередь для разведки/обнаружения перспективных структур, коррекции процессов разработки нефтегазовых месторождений, а также оценки и переоценки принадлежащих им запасов углеводородного сырья.

В ряде случаев многие компании проводят геолого-геофизические работы без их должного обоснования, что приводит, по сути, к повышению оценочной стоимости принадлежащих им месторождений и своей капитализации. В дальнейшем подобный подход может привести к ошибочным инвестициям, неоправданному бурению и разработке неперспективных месторождений. Поэтому к вопросам планирования и обоснования разведки, в том числе и сейсморазведочных работ, необходимо относиться очень серьезно, детально прорабатывая все этапы этого процесса.

Понимая значимость и необходимость качественного изучения геологического строения на своих лицензионных участках, многие крупные нефтегазовые компании ведут спланированные геолого-геофизические работы, зачастую не имея при этом своих квалифицированных специалистов с необходимым уровнем знаний для обоснованного принятия решений на всех этапах геофизических работ. В этом случае эффективно прибе-

гать к услугам независимых компаний-экспертов, которые специализируются на оптимизации различных этапов ГРР, таких как проектирование работ, их контроль и т.д.

Необходимо принимать во внимание еще один важный момент. Одно дело - хорошо спланировать работы, детально обосновав применение различных методик и технологий с технико-экономических позиций. Совсем другое дело - качественно и своевременно выполнить запланированные работы. Поэтому интегрированный подход с привлечением как компаний-экспертов, так и высококвалифицированных, надежных компаний-подрядчиков для реализации полевых работ, обработки и интерпретации полученных геолого-геофизических данных, а также тесная взаимосвязь специалистов Заказчика и Подрядчиков, позволяют решать поставленные задачи на высоком уровне.

Примером такой совместной работы представителей нефтегазовой компании, независимых экспертов по проектированию и технико-методическому контролю сейсмических работ 3D, а также полевой сервисной компании, стала реализация крупномасштабного проекта широкоазимутальной съемки МОГТ-3D на одном из перспективных объектов, расположенном на IV лицензионном участке ООО СП «Волгодеминойл» в Волгоградской области.

Задачи и район работ

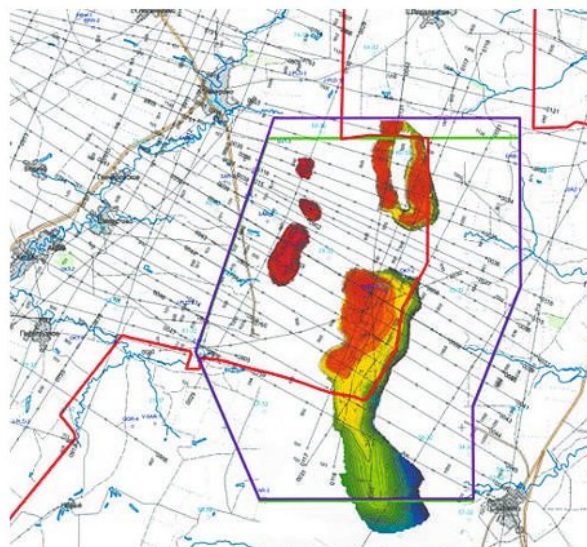
Целевым назначением работ являлось детальное изучение геологического строения района с помощью широкоазимутальных сейсморазведочных исследований МОГТ-3D, обеспечивающих получение качественного и достоверного материала в сложных условиях солянокупольной тектоники. Целевые горизонты находятся на глубинах от 4 до 7 километров.

Площадь исследований расположена в 90-120 км на юг от г. Волгоград. Рельеф местности относительно спокойный, в то же время с запада на восток она пересечена неглубокими речками, временными водотоками, образующими глубокие каньоны, и оврагами. На территории планируемой съемки 3D расположены автомобильные дороги, линии связи, газопровод и поселок. Значительная часть площади находится в зоне активного земледелия (пашни, посевы зерновых культур, пастбища и др.), что создаёт серьёзные трудности при согласовании проектируемых сейсмических работ с землепользователями и при определении размера денежной компенсации им за возможный ущерб. Также предполагалось, что в отведенный для съемки период (ноябрь-март) имеют место осенняя и весенняя распутицы, чередования оттепелей и морозов, что усложнит проведение сейсморазведочных работ МОГТ-3D.

Геология района и его изученность

ООО СП «Волгодеминойл» приступило к исследованию района сейсмическими методами в 1998 году. В районе площади съемки 3D отработано около 1127 пог.км сейсмических профилей МОГТ-2D. На основании этих данных была обоснована геолого-геофизическая модель строения подсолевых отложений и выделен пер-

спективный, предположительно верхнедевонский рифовый объект. Собственно для его более надежного обоснования, уточнения структурных особенностей залегания и локализации его размеров и была запроектирована широкоазимутальная 3D-съемка (рис. 1).



▲ Рис. 1. Схема изученности района с выделенными перспективными объектами.

Исследуемый участок в тектоническом отношении находится в юго-западной части Прикаспийской впадины, в пределах которой выделяются несколько структурных комплексов:

- надсолевой: преимущественно терригенный, включает отложения от четвертичных до верхнепермских;
- соленосный: представлен сульфатно-галогенными осадками кунгурского возраста;
- подсолевой: сульфатно-терригенно-карбонатные отложения различной мощности от нижнепермских до фундамента.

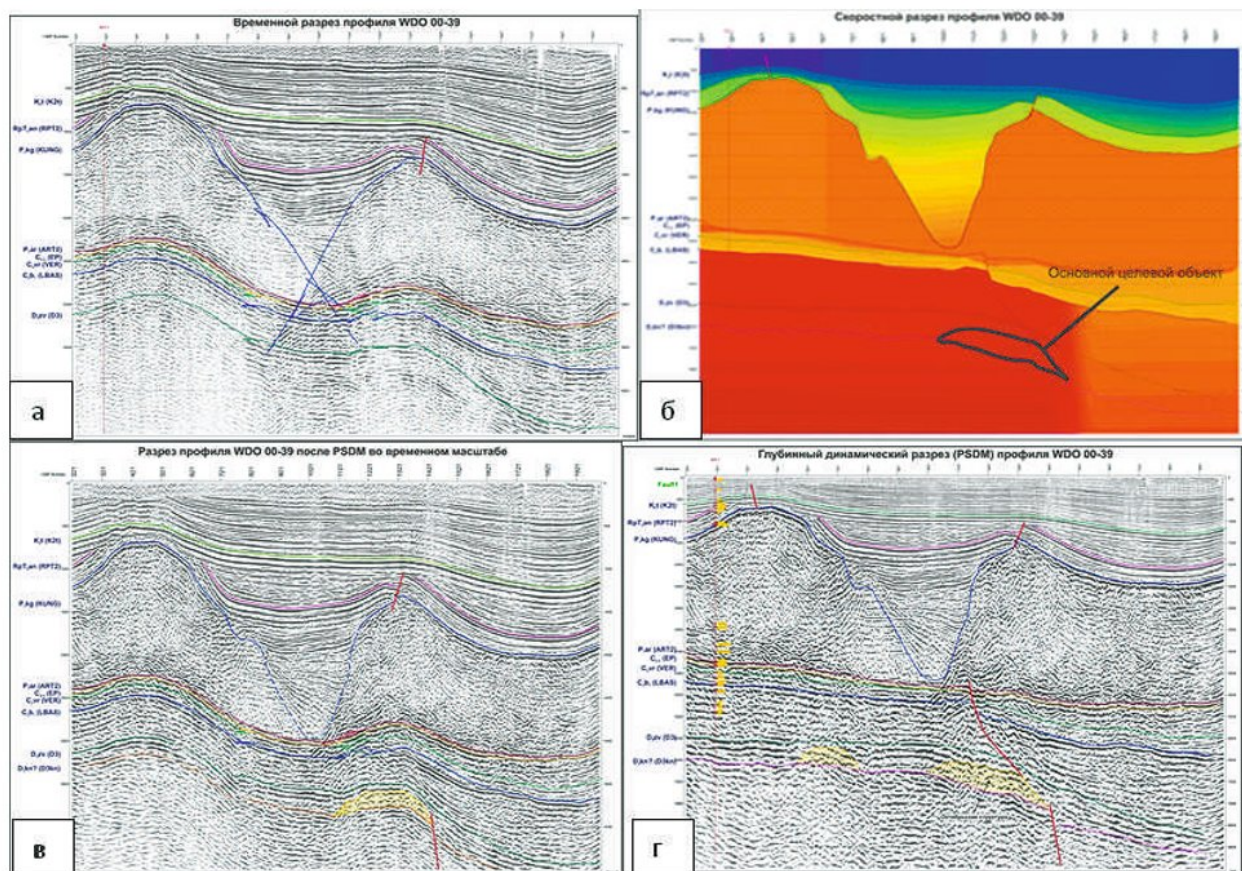
В процессе ранее выполненных поисково-разведочных работ девонские отложения на территории участка скважинами вскрыты не были. Однако, по аналогии с известным Карачаганакским нефтегазоконденсатным месторождением, Тенгизским нефтяным месторож-

дением и Астраханским газоконденсатным месторождением, которые расположены в пределах северной и южной частей Прикаспийской впадины, предполагается, что целевые потенциально продуктивные отложения на площади исследований также сложены рифогенными известняками и/или доломитами. Дополнительными ресурсами могут обладать нижнебашкирско-турнейские отложения, в которых по материалам сейсморазведки намечаются органогенные постройки. Скорее всего, это рифы, сформированные на краю карбонатной платформы.

Анализ результатов ранее выполненных работ 2D показал, что район характеризуется сложным геологическим строением, наличием низкоскоростных поверх-

ностных и среднескоростных преломленных волн-помех, негативным влиянием толщи кунгурских соленосных отложений и др. На рис. 2а представлен временной разрез после стандартной обработки. Как можно видеть, кунгурская толща очень сильно искажает изображение подсолевых отложений.

Только детальное построение глубинно-скоростной модели (рис. 2б) и глубинная миграция до суммирования (рис. 2г) позволили на более качественном уровне изучить особенности геологического строения участка и по-новому оценить перспективы нефтегазоносности геологического разреза подсолевых отложений Прикаспийской впадины. Вместе с тем, для получения более надежной и достоверной геолого-геофизической модели



▲ Рис. 2. Сейсмоданные по профилю 2D (IV лицензионный участок): а – разрез после временной обработки; б – глубинно-скоростная модель; в – разрез после глубинной миграции до суммирования, пересчитанный во временную область; г – глубинный разрез после глубинной миграции до суммирования.

среды и более уверенного старта поискового/разведочного бурения необходимо проведение 3D сейсморазведочных работ.

Проектирование работ: выбор методики и технологии

Большое значение при реализации сейсморазведочных проектов 3D имеет обоснование и оптимизация методики наблюдений, так как существует множество возможных систем наблюдений, отличающихся друг от друга параметрами (кратностью, расположением и шагом линий и пунктов приема и возбуждения, распределением азимутов и удалений, характеристиками помехоподавления и др.). Выбор полевой системы наблюдений и сейсмического источника должен производиться с учетом накопленного опыта реализации сейсмики 2D и 3D, результатов обработки и интерпретации сейсмических данных, а также сведений об особенностях геологического строения изучаемого объекта.

Следует специально отметить, что трёхмерные сейсморазведочные работы, нацеленные на получение объёмного изображения среды, должны обладать некоторым «запасом прочности», т. е. содержать некоторое избыточное количество информации для обеспечения возможной в будущем переобработки и переинтерпретации данных, когда будут увеличены вычислительные мощности и появятся новые, более эффективные алгоритмы обработки. Экономически указанное требование обосновывается большой стоимостью новых полевых работ (например, проведение повторной съёмки 4D и 3D/3C по усовершенствованной технологии и т. п.) по сравнению со стоимостью повторной обработки и интерпретации имеющихся данных на новом технико-методическом уровне.

На сегодняшний день к числу важных критериев выбора полевой методики и технологии полевых наблюдений относятся стоимостные показатели. Встречаются случаи, когда заказчик/исполнитель полевых работ проектирует съёмку 3D, исходя из имеющихся у него финансовых возможностей и/или оборудования, но не из геологических задач или особенностей строения объекта исследований. Как следствие, выбранная методика/технология сейсморазведочных работ становится менее обоснованной, менее оптимальной и менее способной решить поставленные перед геофизическими работами геологические задачи. Поэтому от обоснованности и убедительности результатов этапа проектирования во многом зависит качество и информативность получаемой геолого-геофизической информации.

Перед проектируемой методикой сейсмических исследований МОГТ-3D на IV лицензионном участке ООО СП «Волгодеминойл» были поставлены определённые условия и требования, основными из которых являлись:

- получение материала высокого качества для объективного изучения структурных условий залегания подсолевых отложений на значительных глубинах (4,5 – 9,0 км) в сложной геологической обстановке, обусловленной наличием мощных соляных тел;
- большая кратность данных для выполнения динамического анализа;
- возможность корректного выполнения глубинной миграции до суммирования;
- выполнение азимутальной обработки данных;
- высокая производительность полевых работ с целью выполнения съёмки на площади около 700 кв. км в течение короткого осенне-зимнего периода.

Выбор методики

Как говорилось ранее, корректное проектирование сейсмических работ должно быть основано на геологической модели. При планировании методики была построена 3D-модель исследуемого участка (рис. 3), по которой с помощью лучевого трассирования были рассчитаны различные атрибуты, в частности:

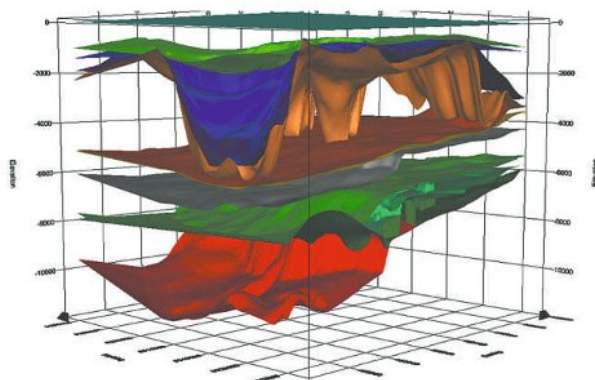
- максимальное удаление «источник-приемник»;
- апертура миграции с учетом наклона границ;
- карты освещенности целевых подсолевых горизонтов, поверхности соляных тел и др. (рис. 4).

В результате анализа геологических задач, геологической модели, рассчитан-

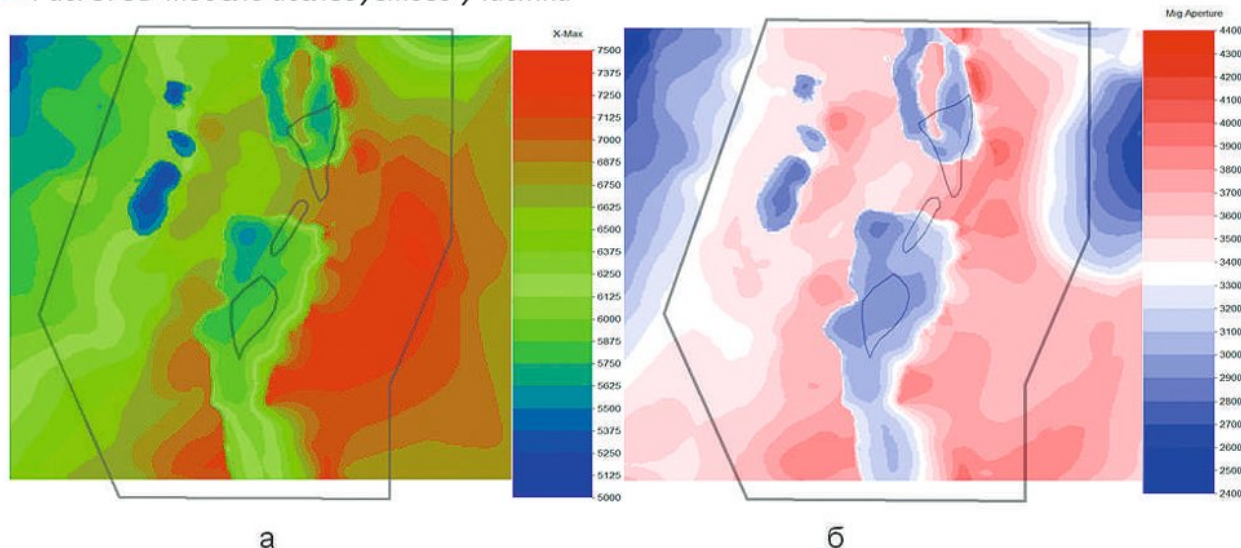
ных атрибутов и предварительной оценки возможных методик наблюдений были выбраны для анализа систем наблюдений следующие параметры методики работ, влияющие на экономические и технические показатели:

- шаг ПП/ПВ;
- шаг ЛПВ/ЛПП;
- количество линий в активной расстановке;
- количество активных каналов в одной линии приема;
- азимутальность системы наблюдения;
- максимальное удаление «источник-приемник»;
- максимальные удаления в продольном и поперечном направлениях;
- номинальная кратность.

Шаг ПП/ПВ выбирался исходя из разрешающей способности по горизонтали. Выполненный расчет показал, что для реперных надсолевых и целевых подсолевых горизонтов разрешающая способность колеблется от 20 до 40 метров. На основании этого был выбран размер бина 25x25 м, что соответствует шагу ПП/ПВ – 50/50 м.



▲ Рис. 3. 3D-модель исследуемого участка



▲ Рис. 4. Карты рассчитанных атрибутов для перспективного горизонта:
а) максимального удаления; б) апертуры миграции.

Следующим этапом проектирования работ был перебор количества активных каналов в линии ПП, количества линий ПП и расстояний между линиями возбуждения (ЛПВ) и приема (ЛПП). На рис. 5 представлены графики набора кратности для анализируемых систем наблюдения.

Важной характеристикой системы наблюдения является ее азимутальность. В соответствии с сейсмогеологическими условиями участка работ и задачами, стоящими перед сейсморазведкой 3D, необходимо применение широкоазимутальных высокочастотных систем наблю-

дения. Поэтому одним из критериев выбора системы является коэффициент азимутальности, который определяется как отношение сторон шаблона активной (единичной) расстановки и должен быть в пределах от 0,75 до 1,0 при рекомендуемой кратности не менее 200.

В первых четырех столбцах таблицы 1 зафиксированы параметры некоторых возможных систем наблюдения, а в последующих – изменение наиболее важных сейсмических (кратность, удаления и азимутальность) и технико-экономических (количество каналов, шаг

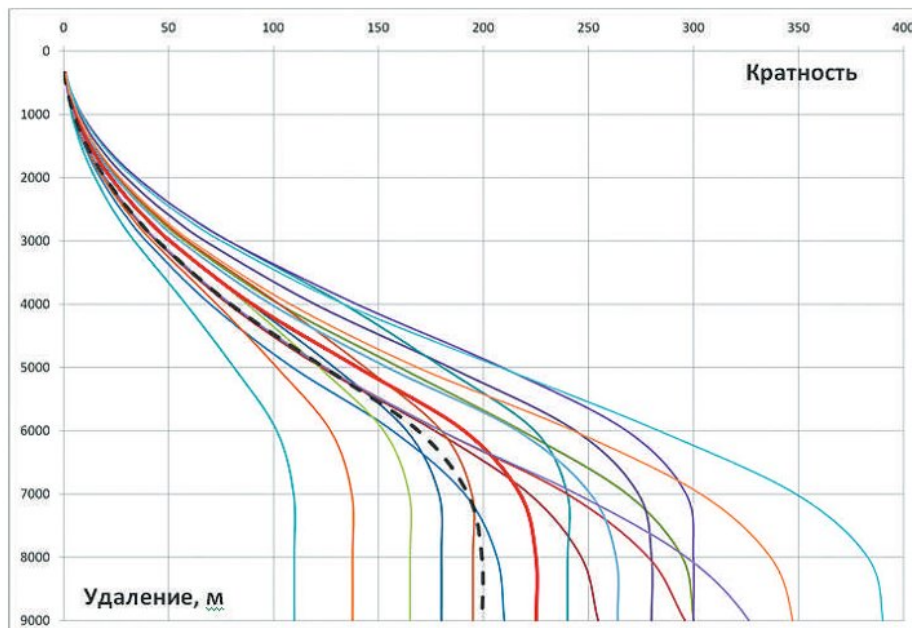


Рис. 5. Графики распределения кратности по удалениям для анализируемых систем наблюдения. Чёрным пунктиром показан минимально рекомендуемый уровень кратности.

№ вар.	Шаг ЛПП, (м)	Шаг ЛПВ, (м)	Активная расстановка		Колич. канал. в шаблоне	Коэф. Азимут.	Мин. удал. (м)	Макс. удал. (инлайн) (м)	Макс. удал. (кросс-лайн) (м)	Макс. удал. (м)	Кратность
			колич ЛПП	колич канал. в ЛПП							
CH1	400	450	28	252	7056	0.86	602	6275	5575	8394	196
CH2	400	450	30	252	7560	0.92	602	6275	5975	8665	210
CH3	400	400	30	240	7200	0.97	566	5975	5975	8450	225
CH4	400	400	28	256	7168	0.84	566	6375	5575	8469	224
CH5	400	350	28	252	7056	0.86	531	6275	5575	8394	252
CH6	300	400	36	256	9216	0.82	500	6375	5375	8339	288
CH7	400	300	28	264	7392	0.82	500	6575	5575	8620	308
CH8	300	300	36	264	9504	0.80	424	6575	5375	8492	396

Табл. 1. Системы наблюдения (CH), выбранные для подробного анализа.

▼ Табл. 2. Параметры системы наблюдений-вариант СН2

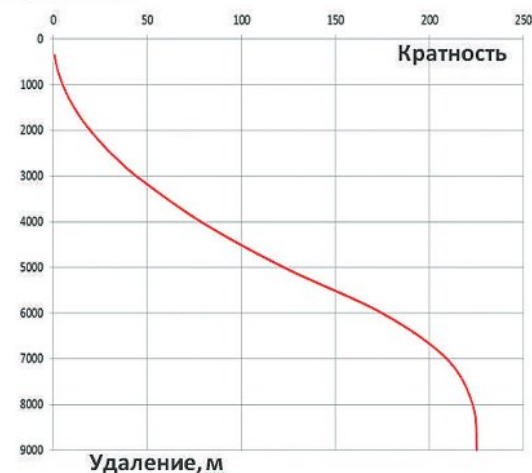
Параметры	
Шаг между ПП, м	50
Шаг между ПВ, м	50
Шаг между ЛПП, м	400
Шаг между ЛПВ, м	400
Количество активных линий в одном шаблоне	28
Количество каналов в одной активной линии	256
Количество активных каналов в активной расстановке	7168
Максимальное удаление, м	8469
Номинальная кратность	224

ЛПП/ЛПВ) параметров, влияющих на принятие решения при выборе оптимальной полевой системы.

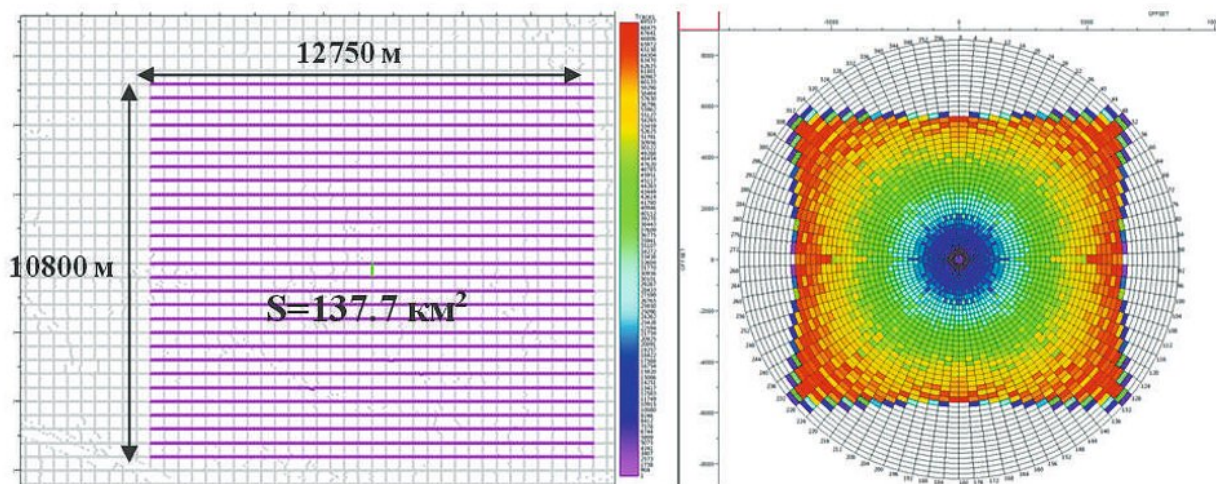
На основании выполненного анализа геологических особенностей района, результатов предыдущих работ, результатов моделирования, а также потенциальных технологических возможностей была выбрана для проведения работ МОГТ-3D методика наблюдения, представленная в таблице 2.

Шаблон активной расстановки и диаграмма распределения трасс по удалениям и азимутам представлены на рис. 6.

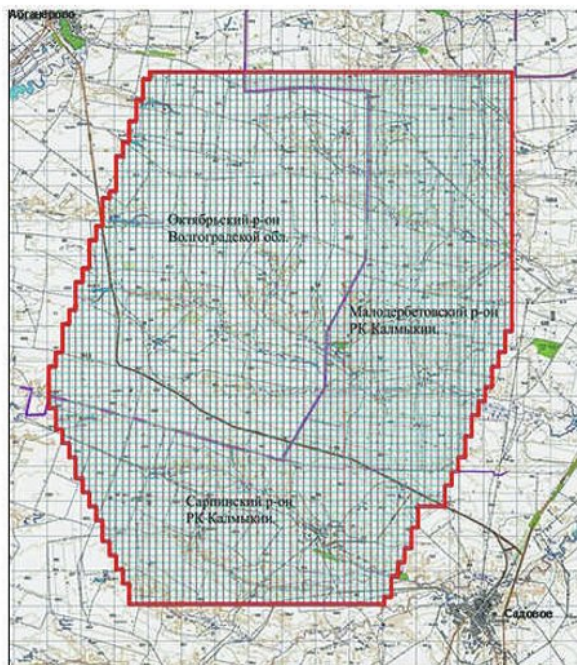
Немаловажным моментом является тот факт, что для одновременного обеспечения высокой кратности, широкоази-



мутальности и применения больших удалений необходимо использовать большое количество оборудования, что влечет за собой технологические трудности с его раскладкой, контролем, наладкой и перекладкой, а также существенное увеличение стоимости сейсмических работ МОГТ-3D. Фактически для нормальной конвейерной работы сейсмической партии необходимы полторы – две активные расстановки оборудования (групп сейсмоприемников, модулей, кабелей и т. п.). Например, при 3 тыс. активных каналов в шаблоне активной расстановки необходимо иметь 4,5-6 тыс. каналов, при 7 тыс. активных каналов – 11-14 тыс. каналов, а при 10 тыс. – 15-20 тыс. активных каналов. На россий-



▲ Рис. 6. Шаблон активной расстановки выбранной системы наблюдения (слева) и диаграмма распределения трасс по удалениям и азимутам (справа).



ском рынке мало у кого из сервисных компаний в одной сейсмопартии имеется такое количество оборудования. Даже в случае объединения двух-трёх партий и при наличии необходимого количества оборудования нужны специалисты, имеющие опыт управления и координации действий такой партии в момент производства работ. Естественно, что при уменьшении количества задействованных каналов процесс работы упрощается и ускоряется. Поэтому в процессе проектирования следует уделять повышенное внимание вопросам оптимизации технологии регистрации, так как она имеет существенное значение для подрядной организации.

На этапе проектирования работ на участке оптимизировалась вся технологическая цепочка сейсмических работ с целью минимизации временных затрат и количества задействованного оборудования. Здесь важной являлась оценка количества необходимого оборудования для бесперебойной работы сейсмопартии и достижения плановой среднесуточной производительности. В таблице 3 представлен расчет необходимого

Статистические данные съёмки 3D

Площадь работ	700 кв.км
Количество ПП	35548
Количество ПВ	35150
Количество шаблонов	4444
Количество каналов в одном шаблоне	7168
Количество ЛПП	77
Количество ЛПВ	70

▲ Рис. 7. Контур съёмки, схема расположения линий пунктов приема и возбуждения и статистические данные по объемам работ.

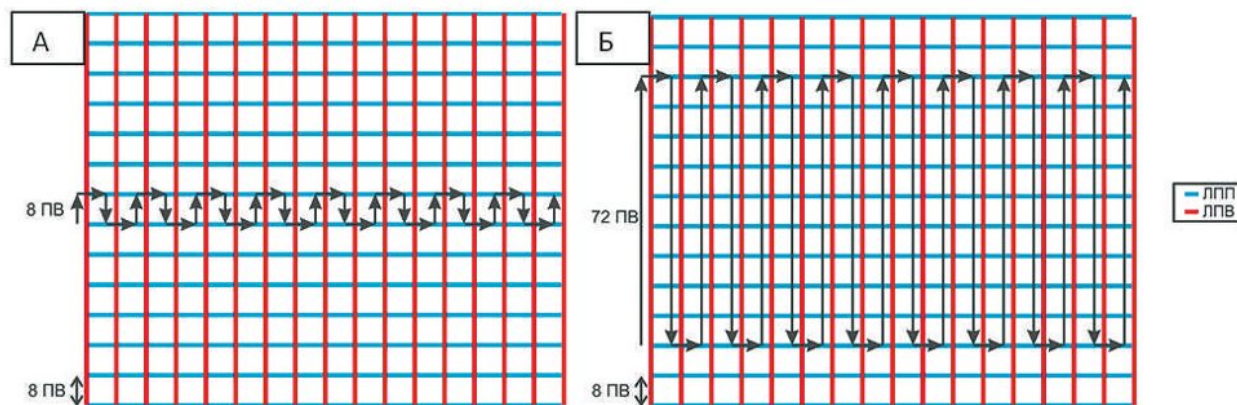
оборудования при априорно заданной среднесуточной производительности в 300 и 500 ПВ/день. Расчет проводился для двух технологий отстрела:

- технология 1 - с использованием 1 активного шаблона в поперечном направлении (8 ПВ) и с дальнейшим переездом на следующую ЛПВ (схема показана на рис. 8а);
- технология 2 – с отстрелом 9 активных шаблонов в поперечном направлении ($9 \times 8 = 72$ ПВ) и с дальнейшим переездом на следующую ЛПВ (схема показана на рис. 8б). В этом случае необходимо одновременно разложить сразу не 28 линий приёма (как в активной расстановке), а $28 + (9 - 1) = 36$ ЛПП.

Теперь отчётливо видно, насколько сильно зависит количество необходимых каналов от технологии отработки. В результате несложных расчетов можно сделать вывод, что для бесперебойной работы сейсмопартии кроме 7168 активных каналов для одного шаблона нужно еще от 4000 до 14000 дополнительных каналов в зависимости от необходимой производительности и от технологии отработки площади. Данные из таблицы

▼ Табл. 3. Количество необходимого оборудования.

	Количество необходимых каналов для конвейерной работы для 300 ПВ в сутки, (шт)	Количество необходимых каналов для конвейерной работы для 500 ПВ в сутки, (шт)
Технология 1 (полосами по 8 ПВ)	7168 акт. + 8656 доп. = 15824	7168 акт. + 14256 доп. = 21424
Технология 2 (полосами по 72 ПВ)	7168 акт. + 5504 доп. = 12672	7168 акт. + 6368 доп. = 13536



▲ Рис. 8. Технологии отработки площади полосами по 8 ПВ (слева) и по 72 ПВ (справа).

3 прямо указывают на то, что для подрядной организации проведение работ по технологии 2 наиболее удобно.

Полевые работы, их крупномасштабность

После завершения этапа планирования съемки 3D, обсуждения полученных результатов, принятия Заказчиком (ОАО «ЛУКОЙЛ», ООО СП «Волгодеминойл») рекомендуемых оптимизированных параметров полевой системы наблюдений и сейсмического (вибрационного) источника, согласования сейсморазведочных работ с различными государственными органами, землепользователями и выбора подрядной организации на основе открытого тендера (ОАО «Волгограднефтегеофизика») начались полевые работы.

В ходе полевых работ использовалась сейсмостанция SerceI 428XL. Полная

активная расстановка охватывала 137,7 кв.км., а с учетом проектной дневной производительности и бесперебойной работы площадь, на которой находилось оборудование, составила 214 кв.км. Было задействовано более 13550 каналов, что является минимальным количеством для выбранной оптимизированной технологии конвейерной отработки полосами по 72 ПВ при производительности 500 ф. н. в день.

Верхняя часть разреза неоднородна, поэтому для уточнения её строения был выполнен микросейсмокаратаж в 730 точках, равномерно распределённых по площади.

Благодаря современному оборудованию, четкой и слаженной работе сейсмической партии ОАО «Волгограднефтегеофизика» удалось отработать всю съёмку на площади 700 квадратных километров

за 85 дней (с 05.11.2012 г. по 28.01.2013 г.), т. е. существенно раньше проектного срока. Причинами такого ускорения являются оперативная мобилизация партии, бесперебойное материально-техническое снабжение и ремонт техники, чёткая организация работ, строгое соблюдение правил техники безопасности и охраны труда в течение всего периода съёмки, а также относительно благоприятные погодные условия (полевые работы эпизодически приостанавливались из-за резких потеплений и сильных ветровых помех).

В таблице 4 приведены проектные и фактические сроки и объёмы выполнения работ. На рис. 9 представлена карта фактической кратности МОГТ-3D и разница между проектной и фактической кратностью. Все пропуски ф.н. связаны с наличием в районе работ техногенных объектов (жилых зон, дорог, линий связи и др.), а также участков сложного рельефа (склонов оврагов и т. п.).

На рис. 10 представлены фрагменты полевых сейсмограмм и временного разреза, полученного в процессе предварительной обработки на полевом вычислительном центре. Анализ данных указывает на то, что полученный сейсмический материал характеризуется достаточно высоким качеством и оценивается как

пригодный для решения поставленных геолого-геофизических задач.

Первые результаты обработки

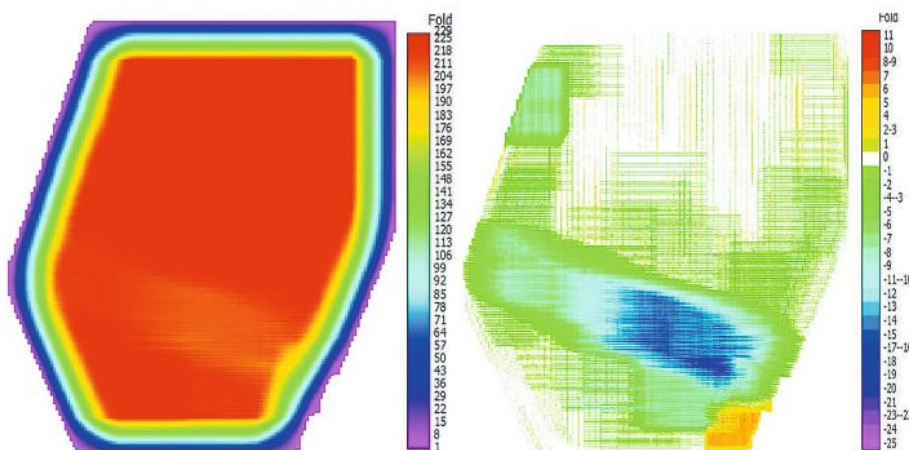
Результаты полевых работ поступили на обрабатывающий центр, где также было отмечено хорошее качество данных. Первые же результаты обработки показали лучшее изображение геологической среды и особенно перспективных объектов на новых широкоазимутальных данных 3D по сравнению с предыдущими работами 2D. На рисунке 11 представлено сравнение глубинных разрезов по профилю 2D и выбранной линии из куба 3D параллельно профилю.

Заключение

В статье описан пример успешного выполнения крупномасштабного сейсмического проекта. Применение интег-

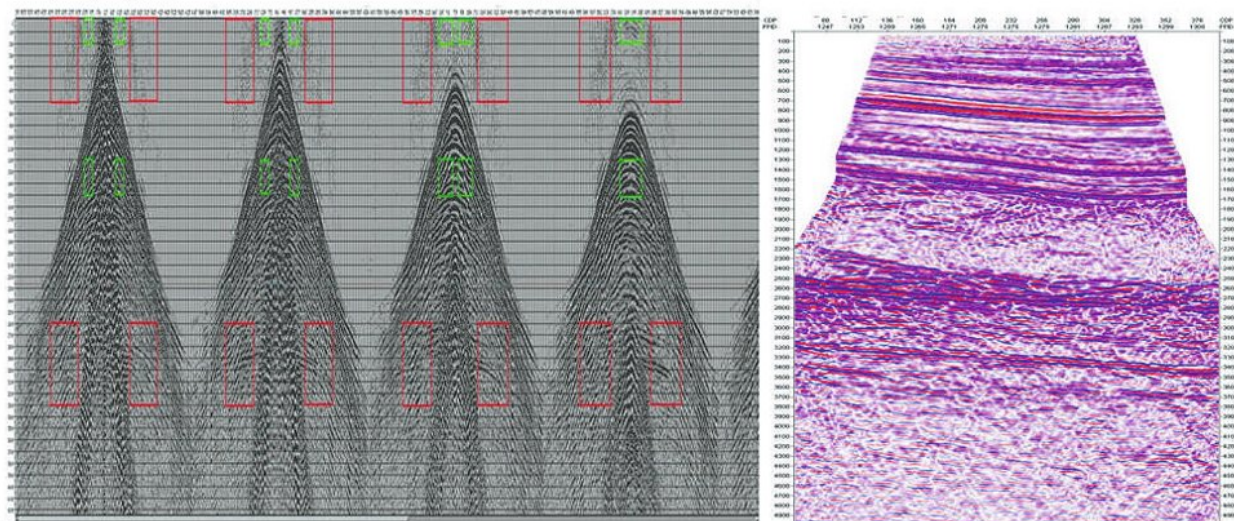
▼ Табл. 4. Сроки и объёмы выполненных работ

Месяц	Плановые показатели	Фактические показатели
	км ²	км ²
ноябрь	20.0	222.2
декабрь	160.0	208.2
январь	250.	269.6
февраль	220.0	-
Март	50.0	-
Итого:	700.0	700.0



◀ Рис. 9. Карты фактической кратности (слева) и отличия кратности от проектной (справа).

▼ Рис. 10. Примеры полевых сейсмограмм (слева) и временного разреза после процедур полевой обработки (справа).

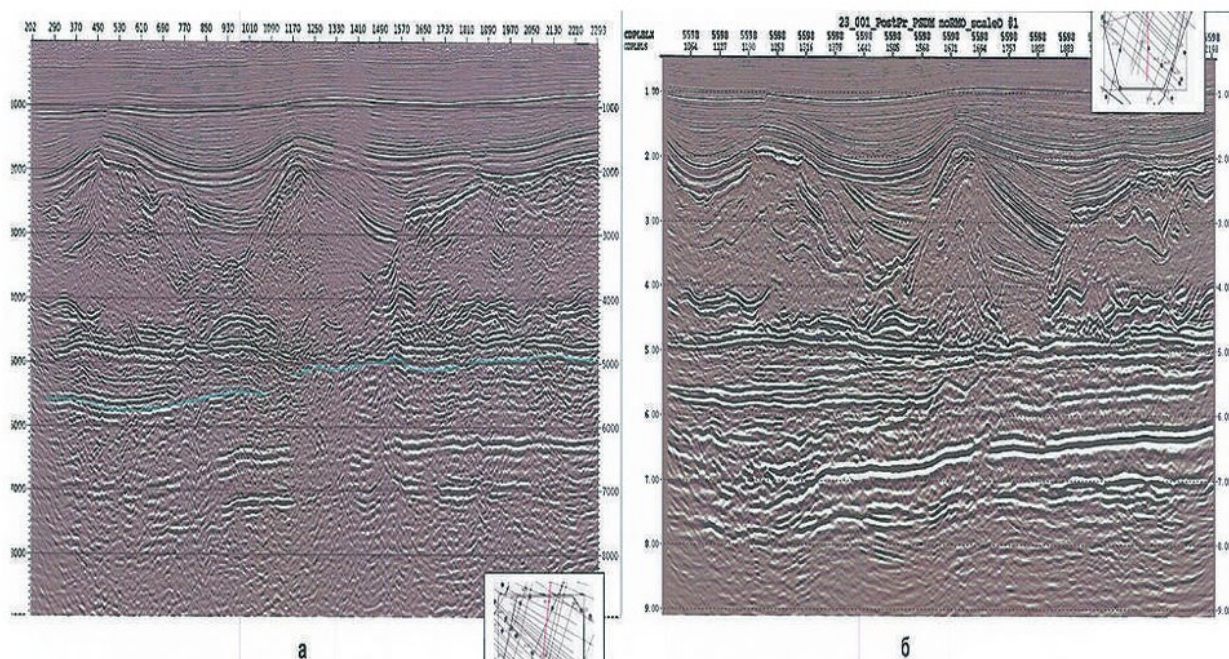


рированного подхода с привлечением специалистов сервисных и нефтяных компаний, детальный анализ сейсмогеологической обстановки района работ и применение методики сейсмогеологического моделирования позволили разработать оптимальную методику и технологию выполнения сейсморазведочных работ МОГТ-3D. Выбранная широкоазимутальная методика отвечает требованиям, поставленным для решения сложной геологической задачи -

надежного выделения и уточнения положения перспективного девонского объекта, залегающего на глубинах 4,0-7,0 км в сложных геологических условиях соляно-купольной тектоники.

Особенностью спроектированной методики является использование большого количества сейсмического оборудования для бесперебойной работы с высокой производительностью (около 500 ф. н./день).

Чёткое планирование, хорошая подго-



▲ Рис. 11. Сравнение результатов PSDM по данным 2D и субпараллельной линии из куба 3D.

товка к полевым работам, высокий уровень организационной деятельности полевой партии, а также слаженная работа всех подразделений подрядной организации в процессе выполнения съемки 3D позволили обеспечить выполнение поставленных задач с сокращением сроков работ без потери качества данных.

Первые результаты обработки подтверждают корректность выбранной методики, а хорошее качество данных позволяет решать поставленные геологические задачи.

Литература

1. Горбачев С.В. Особенности анализа и проектирования широкоазимутальных систем наблюдения // Tyumen 2013 - New Geotechnology for the Old Oil Provinces, Russia, Tyumen, 25-29 March 2013.

2. Горбачев С.В., Губарев М.В., Дердуга А.В., Титов А.Б. Применение сейсмического моделирования при проектировании 3D сейсмической съемки в сложных геологических и орогидрографических условиях // Технологии сейсморазведки №4. 2012.

3. Горбачев С.В., Яковлев А.П. Моделирование сейсмосьемок - инструмент повышения эффективности сейсморазведки // Oil&Gas Journal Russia, №10 (54), октябрь, 2011, стр.84-87.

4. Череповский А.В. Сейсморазведка с одиночными приёмниками и источниками: обзор современных технологий и проектирование съёмок // Образовательный тур EAGE. 2012, 131 с.

5. Cordsen A., Galbraith M., Peirce J. Planning Land 3-D Seismic Surveys. Society of Exploration Geophysicists, 2000.

Подробнее об авторах



Ужакин
Борис Александрович
ООО СП «Волгодеминойл»,
г.Волгоград



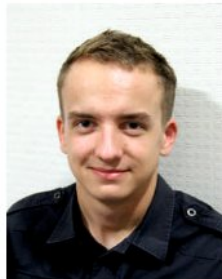
Горбачев
Сергей Викторович,
ООО «ЛАРГЕО
НефтеГазСервис»,
г.Москва



Кобзарев
Григорий Юрьевич,
ОАО «ЛУКОЙЛ»,
г.Москва



Волков
Валерий Реасович,
ОАО «Волгоград-
нефтегеофизика»,
г.Волгоград



Егоров
Антон Алексеевич,
ООО «ЛАРГЕО
НефтеГазСервис»,
г.Москва



Костин
Тимофей Васильевич,
ООО СП "Волгодеминойл",
г.Волгоград