

Техника и технология сейсмических исследований в условиях предельного мелководья и выполнения «бесшовной» съемки на границе вода - суша

Захаров Н.В., Шумский Б.В., Рудаков А.В., ГНЦ ФГУП «Южморгеология», г. Геленджик

Несмотря на то, что прошедшие последние пять лет ознаменовались достаточно интенсивным развитием трехмерных технологий, на данный момент времени немногие геофизические компании в России имеют опыт проведения сейсморазведки 3D в условиях предельного мелководья и, в частности, на границе вода – суша, обеспечивая при этом «бесшовную» съемку при стыковке с наземными наблюдениями. С этой точки зрения, статья, посвященная именно практическим аспектам и специфике их выполнения, может быть интересна широкому кругу геофизиков – практиков, занимающихся полевыми сейсмическими исследованиями.

В качестве исходных полевых данных, на примере которых будут освещены основные проблемы, возникающие при выполнении полевых работ, были использованы трехмерные исследования, выполненные на Крузенштернском лицензионном участке по заказу ООО «Газфлот».

Район работ расположен в Ямальском районе Ямало-Ненецкого автономного округа (ЯНАО) за Полярным кругом в прибрежной части Карского моря. Границы контура лицензионного участка с предполагаемой формой Крузенштернского структурного осложнения и батиметрическая карта водной территории представлены на рисунке 1.

Морская акватория (залив Шарапов Шар) представляет собой мелководный бассейн с глубинами, не превышающими 3 метра. Грунт на дне водоема илистый, вязкий. В южной части участка между островами Шараповы Кошки и береговой линией располагается пролив под названием Мутный Шар, в пределах которого находится узкий каньон северо-восточного простираения с сильным подводным течением. Протяженность его порядка 15 км, ширина не более 1 км, глубина 8 – 18 м. Общая пло-

щадь планируемых работ на акватории составляет 700 кв. км.

Прибрежная часть лицензионного участка имеет труднопроходимую слегка всхолмленную тундру, прорезанную множеством рек и ручьев и покрытую большим количеством озер и болот. Прилегающая к заливу суша характеризуется присутствием многолетнемерзлых пород мощностью до 250 м.

Полевые исследования выполнялись на море силами ГНЦ ФГУП «Южморгеология» в летний полевой сезон 2010 и 2011 г, на суше, в северной части площади - ОАО «Ямалгеофизика» в зимний период 2010 - 2011 г. Задача работ: оконтуривание Крузенштернского структурного осложнения и выполнение «бесшовной» съемки на границе вода-суша.

В 2010 г морские работы были выполнены в центральной части водной акватории в объеме 398.63 кв. км. Оставшийся объем работ на 2011 г составлял 301.37 кв км.

В настоящее время морские работы закончены полностью, наземные исследования в южной части площади будут продолжены в зимнем полевом сезоне

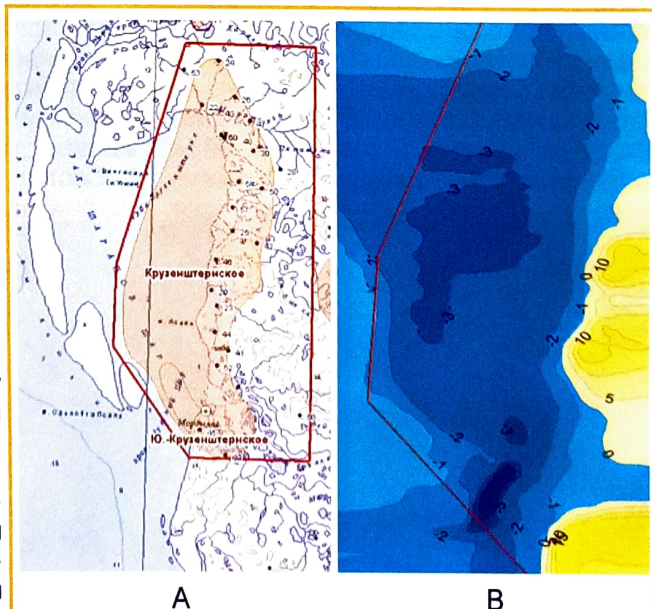


Рис. 1 Границы контура лицензионного участка с предполагаемой формой Крузенштернского структурного осложнения (А) и батиметрическая карта водной территории (В)

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ
РАЗВЕДОЧНОЙ ГЕОФИЗИКИ
ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

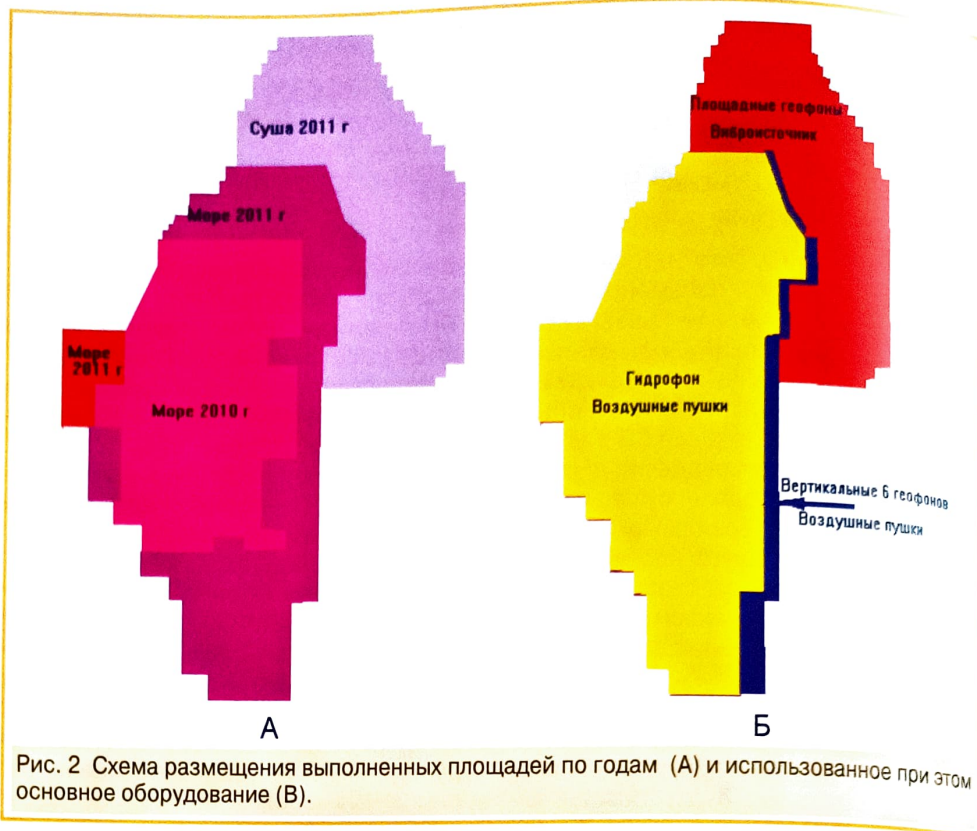


Таблица 1: Методика работ на суше и на море

	Расстояние между ЛПП	Расстояние между ЛПВ	К-во ЛПП в шаблоне	К-во ЛПВ в шаблоне	К-во активных каналов	К-во ПВ в шаблоне	Кратность
Суша	300 м	300 м	16	1	1536	24	64
Море	300 м	300 м	8	8	768	768	64

2012 – 2013 г.

На рисунке 2 представлена схема размещения площадей, выполненных по годам, и использованное при этом основное оборудование.

Методика работ на суше и на море отображена в табличной форме (Таблица 1).

Линии пунктов приема (ЛПП) распо-

лагались в широтном направлении, линии пунктов взрыва (ЛПВ) – меридиональном. Схемы наблюдения на этапе проектирования сухопутных и морских работ были согласованы между исполнителями наземных и морских исследований.

Состав морской сейсмической партии включал 82 человека и располагался на несамостоятельном судне специального назначения (НССН) «Геошельф» (рис. 3).

Здесь же размещался центр управления полевыми сейсморазведочными работами, центр предварительной обработки сейсмической информации (QC анализ) и станция дифференциальных поправок.

Все сотрудники партии снабжены защитными костюмами URSUIT, изготовленными по технологии GORE TEX. Особенностью материа-



Рис.3 Несамостоятельное судно специального назначения (НССН) «Геошельф»

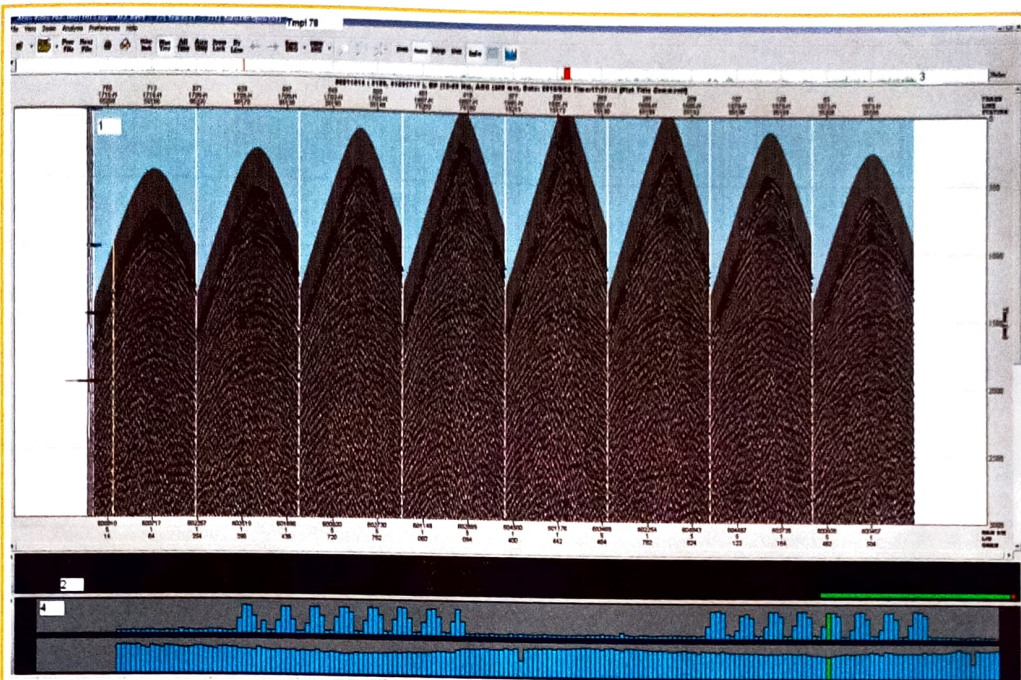


Рис.4 Печать экрана QC-анализа с типичной сейсмической записью для условий предельно малых глубин моря

ла, из которого изготовлен костюм, является то, что он не пропускает воду и в тоже время ткань является «дышащей», т.е. пропускает воздух.

Для записи сейсмических колебаний использовалась система регистрации ARAM ARIES II, к которой прилагается специализированный пакет программ ARAM ARIES DEMO для QC-анализа, позволяющий оператору в реальном времени выполнять анализ волновой картины регистрируемого волнового поля, получаемого от каждого возбуждения.

На рисунке 4 приводится печать экрана QC-анализа с типичной сейсмической записью при выполнении исследований на глубинах моря 2.0 м.

На экране монитора отображается следующая информация:

- RMS-среднеквадратическая амплитуда сигнала в мкВ;
- NOISE- среднеквадратическая амплитуда помехи в мкВ;
- SNR-соотношение сигнал/помеха в ДБ;

- RMS (%) - количество трасс в процентах, удовлетворяющих граничным условиям по уровню шума;
- Station Analyzed – количество анализируемых трасс;
- Station Passed – количество трасс, удовлетворяющих граничным условиям по уровню шума;
- (%)Passed – процент трасс, удовлетворяющих граничным условиям по уровню шума.

В условиях предельного мелководья качество регистрируемых сейсмограмм находится в прямой зависимости от погодных условий. Уровень микросейсм на сейсмических записях для различных глубин водного бассейна, где расположено приемное устройство, контролировался на экране монитора регистратора в процессе выполнения исследований.

Параметры для отображения экрана задаются пользователем.

Для различных глубин были установлены свои допустимые пороговые



Рис. 5 Мотолодки RIB FAST-1000 (А) и плот-носитель с группой пневмоисточников (В)

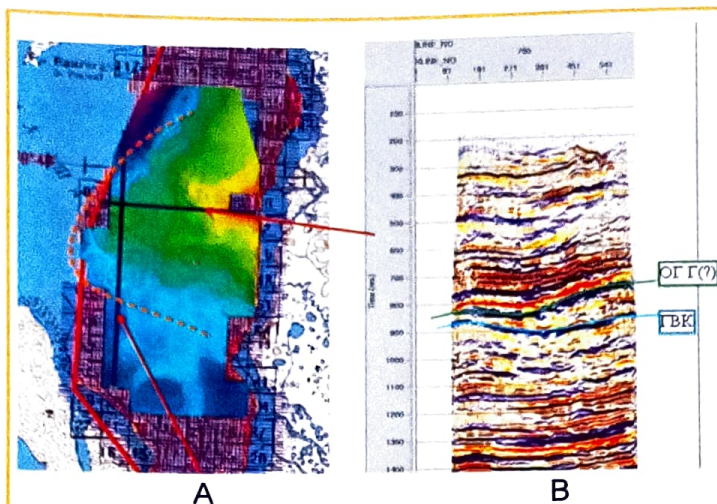


Рис. 6 Предварительные карта изохрон (А) и временной разрез (В) по результатам обработки сейсмического материала 2010 г

значения уровня микросейсм, выше которых работы не выполнялись.

Для раскладки приемных устройств на акватории применялись мотолодки RIB FAST-1000 (рис.5А) производства компании «Narwhal» (Испания) с подвесными лодочными моторами «Yamaha-100».

Возбуждение упругих колебаний на акватории осуществлялось групповым мелководным пневмоисточником (рис.5В), транспортируемым самоходным понтоном.

При выполнении возбуждений были установлены следующие величины глубины погружения групповых пневмоизлучателей:

- глубине моря ≈ 3.0 м соответствовало погружение на 2.5 м;
- глубине моря ≈ 2.0 м соответствовало погружение на 1.5 м;
- глубине моря ≈ 1.5 м соответствовало погружение на 1.0 м;
- глубине моря ≈ 1.0 м соответствовало погружение на 0.8 м.

При исследованиях на предельно малых глубинах ни одна конструкция плота-носителя не выдерживает количества возбуждений в течение всего полевого сезона. В связи с этим в сейсмической партии имелось два однотипных «взрыв-пункта», что позволяло не останавливать работу во время ремонта одного из них.

Выполненные морские полевые исследования в 2010 г были переданы на обработку в ООО «ГСД» (Геофизические Системы Данных, г. Москва). До начала следующего полевого сезона в 2011 г материал был обработан (рис.6) и по результатам обработки, для более

уверенного определения местоположения газо-водного контакта (ГВК) на границе структурного осложнения в восточной части площади, были выданы рекомендации на дополнительный объем работ 60 кв. км в восточной части лицензионного участка (на рисунке 2(А) выполненный дополнительный объем работ обозначен красным цветом).

Таким образом, за короткий летний полевой сезон 2011 г. предстояло выполнить морские работы в объеме 361.37 кв. км.

Учитывая то, что оставшийся основной объем работ сосредоточен в прибрежной зоне, а это наиболее трудоемкий вид исследований, на первый взгляд задача казалась не выполнимой.

Перед выездом на полевые работы теоретически в кабинетных условиях были проработаны различные варианты выполнения планового задания. В результате были приняты следующие основные решения:

1. Сформировать два независимых сейсмических отряда: морской, базирующийся на судне, и прибрежный, базирующийся на берегу со всем вспомогательным транспортом и оборудованием. В связи с тем, что шаблоны на границе суша – море необходимо отрабатывать практически в штилевую погоду, их исследования должны выполняться в приоритетном порядке, то есть подготовленный к выполнению шаблон при наличии благоприятной погоды должен быть немедленно отработан. В период подготовки шаблона суша – море проводить исследования в морской части акватории, тем самым существенно сокращая простои по погодным условиям.

2. В процессе выполнения сейсмических исследований отслеживать поведение контура структурного осложнения путем построения схемы изохрон по верхнему отражающему горизонту «Г» (кровля сеноманских отложений) для возможного перераспределения объемов работ на площади с целью неукоснительного выполнения геологической задачи.

При выполнении работ в летнем полевом сезоне 2011 г сейсморазведочная партия была надлежащим образом сформирована и строго придержива-



Рис. 7 Общий вид датчика с геофонами и способы их установки в тундровых условиях и прибрежной зоне

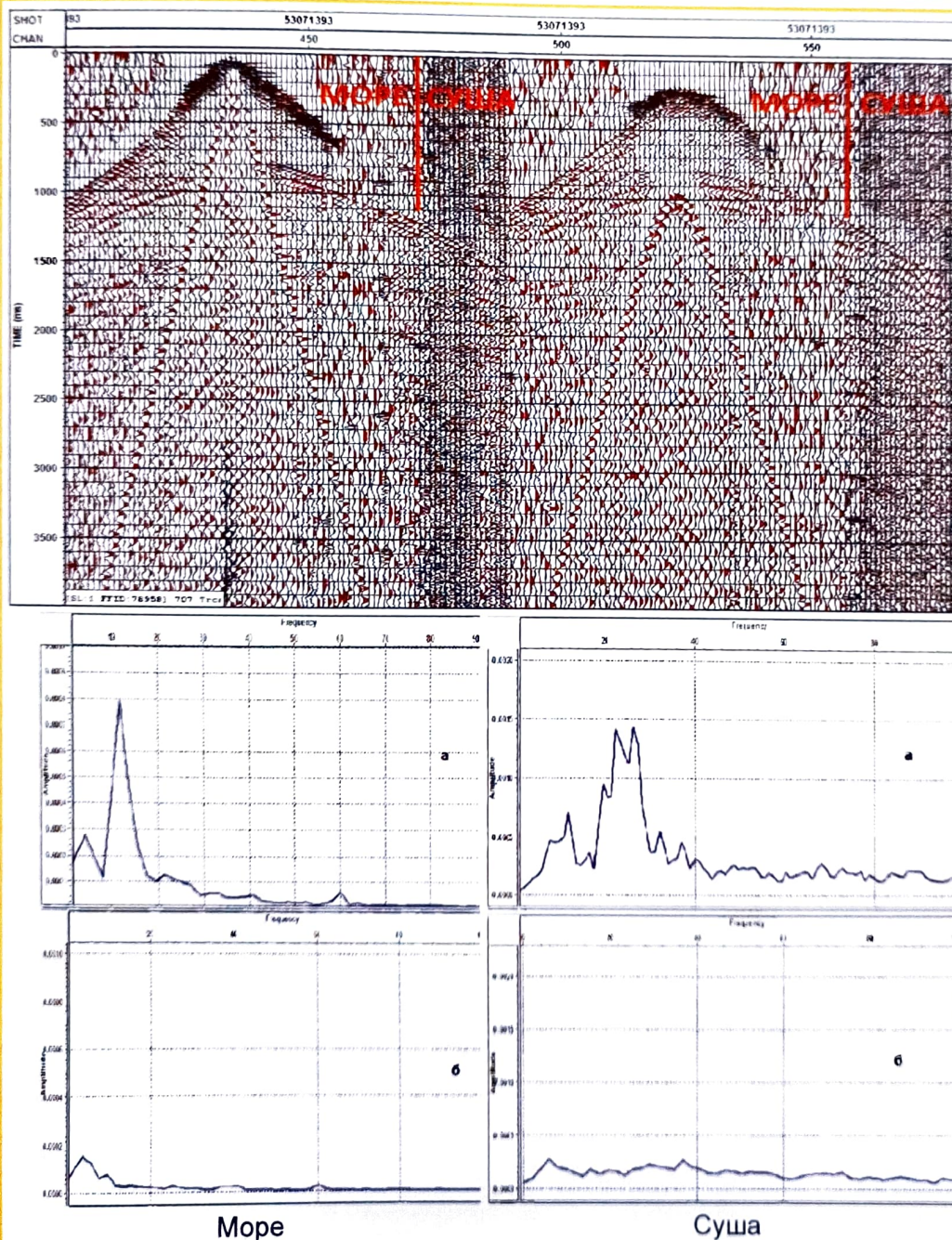


Рис.8 Сейсмограммы, зарегистрированные на границе суша-море и их амплитудно – частотные спектры

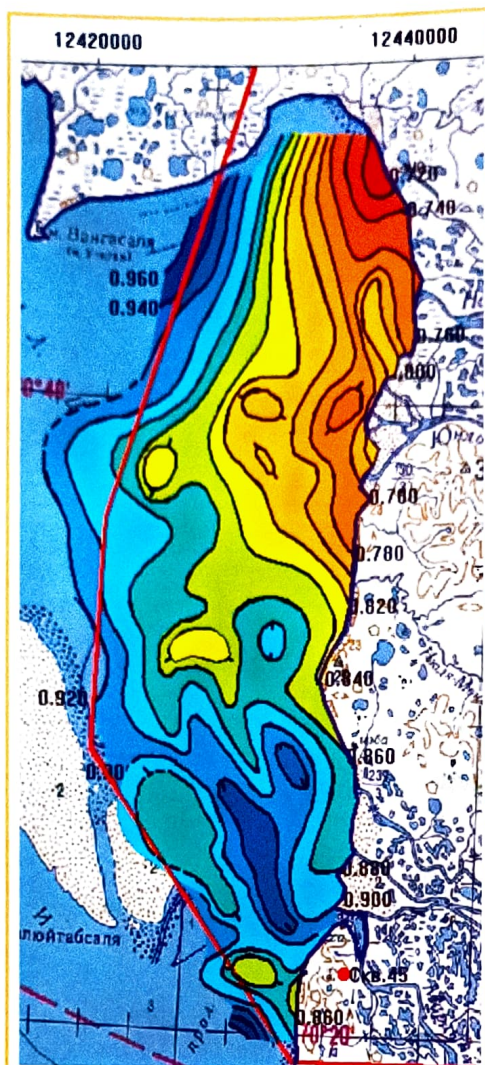


Рис. 9 Вид схемы изохрон по отражающему горизонту «Г» по окончании полевых работ

лась принятых решений.

Раскладка и сбор геофонов на берегу осуществлялись с помощью колесной вездеходной техники «ARGO» Avenger 8×8.

На границе суша – море от глубин 1 м и более на суше устанавливались геофоны, представляющие собой последовательно соединенные вертикально сгруппированные 6 одиночных сейсмо-

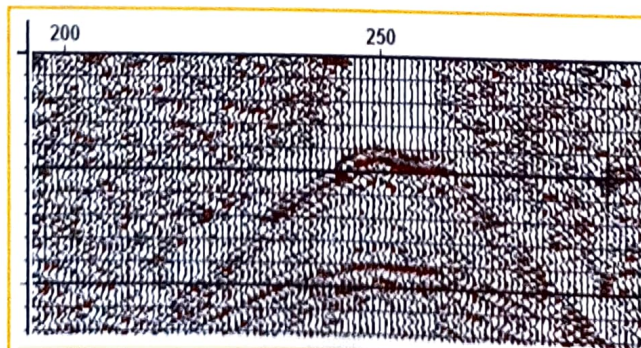


Рис 10. Пример искажения первых вступлений в связи с искривлением приемного устройства

приемников GS-20DX, смонтированных в цилиндрическом контейнере. Цилиндрический контейнер с одного конца снабжен металлическим конусом, который – металлической проушиной, к которой подсоединяется кабель, к фал для удобства вытягивания. На местности контейнер задавливался в грунт до твердой поверхности.

Общий вид такого датчика и способы их установки в тундровых условиях и прибрежной зоне приведен на рисунке 7.

Сейсмические записи в условиях моря и суши различаются между собой по интенсивности и частотному составу (рис. 8).

Морские шаблоны обрабатывались стандартным способом, как и в сезоне 2010 г, но последовательность их выполнения контролировалась по схеме изохрон. Построение карты проводилось на персональном компьютере в системе Seis Win после предварительной обработки сейсмического материала на каждом выполненном шаблоне с последовательным их дополнением (рис. 9). Критерием оценки служил контур Крузенштернского структурного осложнения на уровне отражающего горизонта «Г» (ОГ «Г» – кровля сеноманских отложений, $T_0 \approx 0.7$ с), путем отслеживания которого удалось оперативно перераспределить основные объемы работ и несколько сократить дополнительный объем, что позволило, не нарушая условий Геологического задания, уложиться в рамки короткого летнего полевого периода.

Особую сложность представляла обработка шаблонов в пределах каньона, когда по условиям дизайна съемки линии ЛПП располагались поперек его простираения.

Несмотря на все принимаемые усилия, приемное устройство сносило течением и практически оно складывалось в «гармошку». Было принято опера-

тивное решение: развернуть ЛПП на 90 градусов, то есть разложить по направлению течения. Разворот приемных линий на 90 градусов позволил выполнить все шаблоны в пределах каньона (6 шаблонов), но все-таки при некотором отклонении приемных линий от проектного положения.

Искривление приемных линий хорошо отображается на регистрируемых сейсмограммах путем искажения

первых вступлений (рис. 10).

На таких шаблонах путем использования специализированных программ в системе VISTA (GEDCO, Канада) по первым вступлениям выполнялось определение их истинного местоположения на дне водоема.

Вычисленные поправки вводились в процессе обработки сейсмического материала.

Предварительная полевая обработка на борту судна выполнялась в системе VISTA (GEDCO, Канада) по следующему графу:

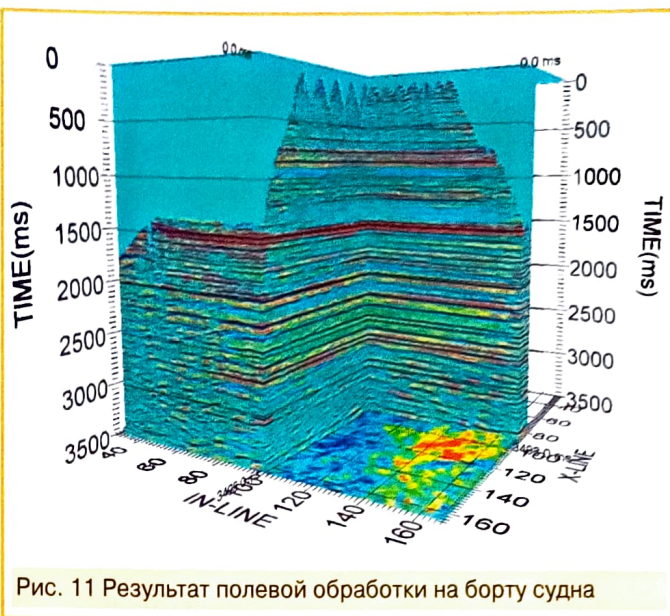
- присвоение геометрии;
- расчет и ввод поправок за искривление приемного устройства (по необходимости);
- автоматическая регулировка амплитуд;
- FK-фильтрация;
- широкополосная полосовая частотная фильтрация;
- деконволюция;
- полосовая фильтрация;
- формирование координат точек ОГТ;
- расчет и ввод кинематических поправок;
- суммирование по линиям Inline&Crossline;
- подавление случайного шума по временному разрезу;
- вывод временных разрезов на бумагу.

Результат полевой обработки на борту судна, характеризующий качество полученного сейсмического материала, представлен на рисунке 11. Интересующий временной интервал разреза соответствует времени 0.7 – 3.0 с (поверхность сеномана – подошва юры).

В результате двух годичных исследований в акваториальной части Крузенштернского лицензионного участка ГНЦ ФГУГП «Южморгеология» выполнила проектные исследования в полном объеме (700 кв. км), дополнительные работы в несколько меньшем объеме – 47.97 кв. км. Качество сейсмического материала комиссией принято с оценкой 0.95.

Полученный ОАО «Ямалгеофизика» в зимнем полевом сезоне 2010 – 2011 г сейсмический материал по сухопутным исследованиям передан на обработку в ООО «ГСД».

На рисунке 12 приведен временной разрез по результатам морских и сухо-



путных исследований и временной срез на времени 0.712 с (отражающий горизонт «Г»).

Результаты обработки свидетельствуют о выполненной «бесшовной» съемке при совместных сухопутных и морских исследованиях. На временном срезе даже не отмечается граница двух видов сейсмических наблюдений. Дополнительными работами (Море 2011 г) более уверенно зафиксирован газодляной контакт (ГВК). В акватории моря оконтурено Крузенштернское структурное осложнение. Геологическое задание Заказчика выполнено в полном объеме.

Первостепенным необходимым условием «бесшовной» съемки является предварительное согласование Исполнителей на уровне SPS – файлов.

Зачастую съемки морская или сухопутная выполняются в разные годы и продолжение того или иного вида съемки на одном объекте накладывает на исполнителей практически непреодолимые условия, из-за которых «бесшовную» съемку в пределах интересующего интервала осадочного чехла выполнить без дополнительных усилий не представляется возможным. В первую очередь, это связано с тем, что на границе суша-море, как со стороны моря, так и суши, на линиях ЛПВ неизбежно существуют пропуски ПВ, связанные с невозможностью их выполнения: со стороны моря из-за малых глубин, и возможности обвала берега при возбуждении упругих колебаний виброустановками со стороны суши. Чтобы заполнить недостающие пропуски ПВ, необходимо выполнить в летний период возбужде-

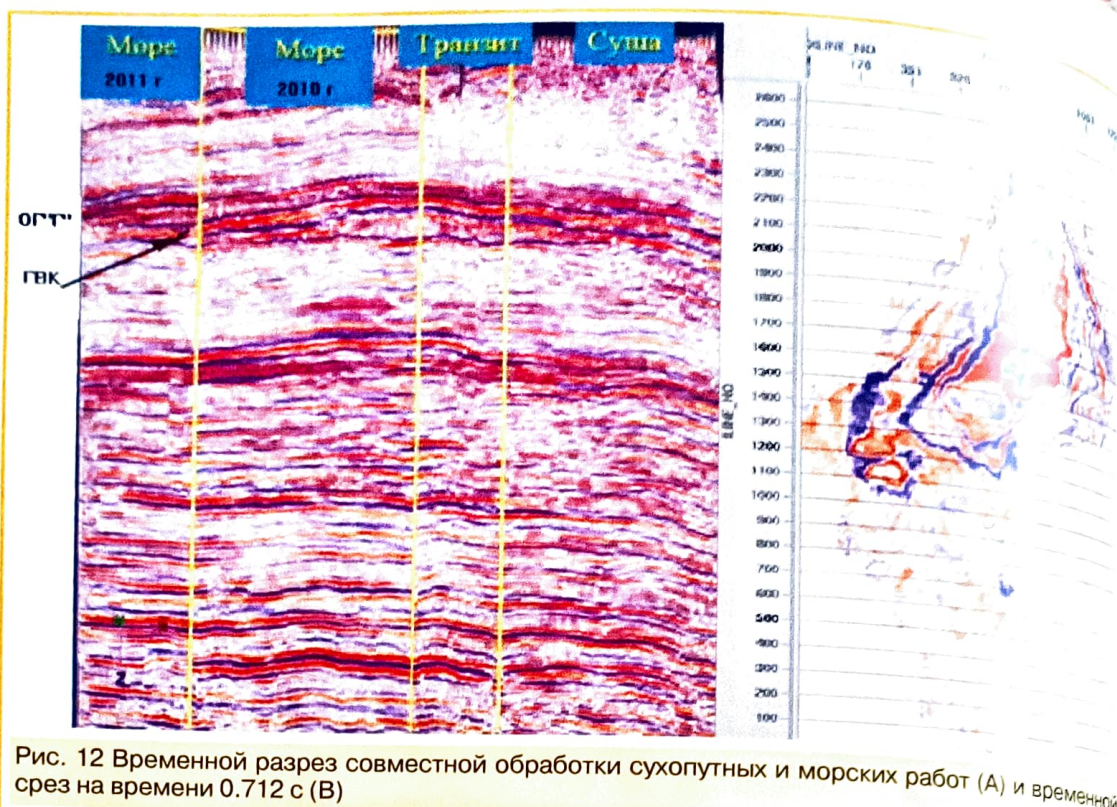


Рис. 12 Временной разрез совместной обработки сухопутных и морских работ (А) и временной разрез на времени 0.712 с (В)

ния скважинным пневмоизлучателем. Однако, эффективность их выполнения зависит от состава осадков, куда помещается скважинный излучатель.

ГНЦ ФГУП «Южморгеология» располагает необходимым оборудованием и опытом работ в прибрежных районах со скважинным пневмоисточником.

В тексте статьи рассмотрено и проиллюстрировано только основное оборудование, использованное при выполнении полевых сейсмических исследований в мелководном бассейне и на границе суша-море. Но следует иметь в виду, что вспомогательное оборудование, такое как: баржа для хранения ГСМ; баржа для складирования малогабаритных плавсредств на период штормовой погоды; буксиры; резиновые лодки и т.д., без которого невозможно производство работ, имеет так же немаловажное значение.

Выводы

Успешному выполнению производственного задания при исследованиях на акватории и в прибрежной зоне суша – море способствовали следующие мероприятия:

- согласование в период проектирования дизайна съемок 3D при сухопутных и морских работах и строгое их выполнение;
- тщательная подготовка сейсмической партии к полевому сезону;
- выезд на полевые работы в запланиро-

ванный срок, позволивший избежать излишних непроизводительных затрат времени по погодным условиям, так как потеря одного дня при мобилизации партии в летний период, приводит к увеличению продолжительности полевых работ осенью на 3-4 суток;

- работа двух независимых сейсмических отряда, что способствовало существенному сокращению непроизводительных затрат времени по погодным условиям;
- применение современных регистрирующих и обрабатывающих систем;
- отслеживание поведения контура структурного осложнения путем построения карты изохрон по верхнему отражающему горизонту «Г» (кровля сеноманских отложений), что позволило оперативно вносить коррективы в направления работ и в рамках полевого сезона выполнить геологическую задачу при некотором сокращении дополнительных объемов исследований;
- применение последовательно соединенных вертикально сгруппированных 6-ти одиночных геофонов GS-20DX, смонтированных в цилиндрическом контейнере, обеспечивших получение качественного сейсмического материала на границе суша – море;
- использование вездеходной техники на берегу, обеспечившей сокращение затрат ручного труда и календарного времени.