

Региональные сейсмические исследования МОВ ОГТ 2D/4С в условиях мелководного бассейна

■ Захаров Н.В., ГНЦ ФГУП «Южморгеология», г. Геленджик

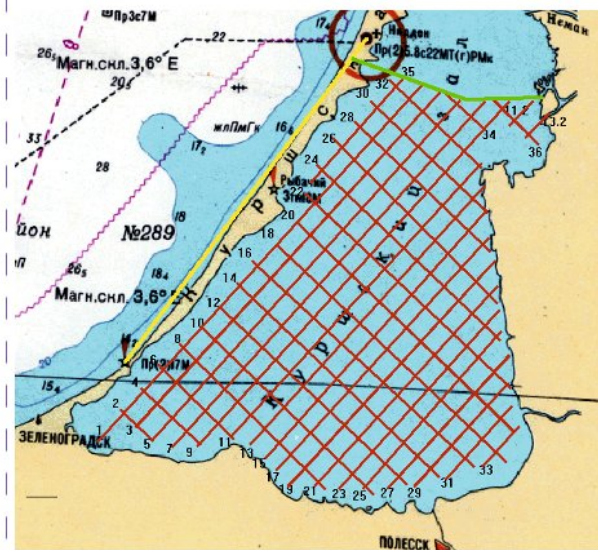
В обзоре изложен опыт практического применения многоволновой сейсморазведки в модификации МОВ ОГТ 2D/4С при проведении региональных сейсмических исследований в условиях мелководного бассейна. Выполнен анализ полученных полевых материалов и рассмотрены пути повышения их качества.

Повышение эффективности геологоразведочных работ было и остается приоритетной задачей геологов и геофизиков. Одним из направлений, которое способствует этому, является многоволновая сейсморазведка (МВС), основанная на использовании монотипных и обменных волн. При этом, она может применяться на всех этапах геологоразведочного процесса - от региональных, поисковых, до детальных разведочных исследований.

Компания «Севморгер» (г. Санкт-Петербург) в рамках Государственного контракта спроектировала региональные сейсморазведочные исследования по сети профилей в объеме 850 пог. км по методике МОВ ОГТ 2D/4С с регистрацией донными станциями четырех компонент волнового поля Р, Х, Y, Z в условиях мелководного Куршского залива Балтийского моря (рис. 1).

В силу сложившихся обстоятельств, в полевом сезоне 2016 г сейсмические исследования в рамках подготовленной программы АО «РОСГЕО» были переданы на выполнение компании ГНЦ ФГУП «Южморгеология», которая вместо донных станций применила донную кабельную систему регистрации Marsh Line семейства XZone. (производства фирмы «СИ Технолоджи», г. Геленджик).

Методика работ осталась прежней. Изменилась технология их выполнения.



▲ Рис. 1. Схема проектных сейсмических профилей МОВ ОГТ 2D/4С в акватории Куршского залива.

Площадь работ располагается в пределах Балтийской нефтегазоносной области (НГО) и интересна тем, что размещается в юго-восточной части Балтийской синеклизы на стыке двух крупных региональных тектонических структур – Калининградского выступа и Куршской впадины, что определяет ее привлекательность в плане нефтегазогеологического районирования.

Геологический разрез представлен породами кристаллического фундамента архей-протерозойского возраста и осадочными образованиями чехла палеозойского, мезозойского и кайнозойского возрастов. Для разреза характерно наличие перерывов в осадконакоплении. Мощность осадочного чехла не более 3000 м, в котором прослеживаются отражающие горизонты РСт – поверхность фундамента, в кембрии - Е, ордовике - О, силуре - S2, девоне - D, перми - Р и триасе - Т. В платформенном чехле выделяется 3 нефтегазоносных комплекса (НГК) -

среднекембрийский, ордовикский и верхнесилурийский.

Куршский залив в пределах Российской территории представляет собой подобие обширной впадины с глубинами 4-6 м. Средняя, глубина залива – 3.7 м. Уровень воды в заливе в среднем на 12 см выше уровня Балтийского моря.

Система «XZone Marsh Line» состоит из комплекта секций донного телеметрического кабеля с модулями и центральной станции регистрации (ЦСР). В каждом модуле находятся гидрофон типа PZ-2 и три геофона GS-20DX. Геофоны смонтированы на карданном подвесе и ориентированы по направлениям: X (горизонтально вдоль модуля) и Y (горизонтально поперек модуля), Z (вертикально).

Телеметрический кабель и модули располагаются на сейсмической лебедке, которая находится на борту судна (рис. 2).



▲ Рис. 2. Телеметрический кабель и модули системы «XZone Marsh Line».

В процессе укладки приемного устройства на дно водоема, средства DGPS в реальном времени фиксируют координаты местоположения каждого приемного модуля. Глубина и рельеф дна акватории определяются в процессе раскладки донного кабеля цифровым эхолотом.

В качестве источника упругих волн применялся групповой пневматический источник «Малыш» производства фирмы

«Пульт» (г. Геленджик). Излучающая группа содержит 14 излучателей общим объемом 12.4 литра, смонтированных на площади 3 x 4 метра. Генерируемый спектр излучения группы составляет 12 – 200 Гц при рабочем давлении сжатого воздуха 130 – 140 Бар.

Работы производились в так называемом «двух судовом» варианте. На одном судне располагалась приемная система «XZone Marsh Line», на другом – групповой пневматический источник «Малыш».

При возбуждении упругих колебаний сейсмическая информация оцифровывается модулями, затем по линиям связи телеметрического кабеля передается в ЦСР, где выполняется демультимплексирование, контроль и запись данных на магнитный носитель.

Проектные параметры методики полевых сейсмических наблюдений МОВ ОГТ 2D/4C приведены в Таблице 1.

Согласно методике работ, профиль отрабатывался отдельными зондированиями. Количество активных каналов для каждой компоненты в единичной расстановке (зонде) равно 120 (6000 м), выход пункта взрыва за пределы первого и последнего канала приемной расстановки ± 3000 м. Последующее зондирование укладывалось на расстоянии 50 м от предыдущего и возбуждения повторялись. Комбинация отдельных расстановок на профиле обеспечивает 120 кратное прослеживание отражающих границ по всей линии наблюдения с размером бина, равным 12.5 м. При таких условиях профиль пунктов возбуждения отрабатывается дважды.

Схема наблюдения по принятой методике работ на обобщенной плоскости приводится на рисунке 3.

▼ Табл. 1. Проектные параметры методики полевых сейсмических наблюдений МОВ ОГТ 2D/4C.

Наименование параметров	Параметры
Метод	МОВ ОГТ 2D/4C
Тип сейсмостанции	«XZone Marsh Line»
Количество модулей (общее \ используемое)	150 /120
Количество каналов (датчиков) в модуле, шт.	4
Назначение датчиков в модуле: - гидрофон ГР-3 – для регистрации Р – компоненты, - геофон GS-20DX – для регистрации Х – компоненты, - геофон GS-20DX – для регистрации Y – компоненты, - геофон GS-20DX – для регистрации Z – компоненты,	1 1 1 1
Количество активных каналов	480
Шаг дискретизации, мс	2
Расстояние между модулями (центрами групп СП), м	50
Расстояние между пунктами возбуждения колебаний, м	25
Размер бина, м	12.5
Система наблюдений	смешанная
Номинальная кратность перекрытия	120
Минимальная разрешенная кратность	60
Минимальное расстояние ПВ – ПП, м	0
Максимальное расстояние ПВ – ПП, м	9 000
Длина записи, сек	5

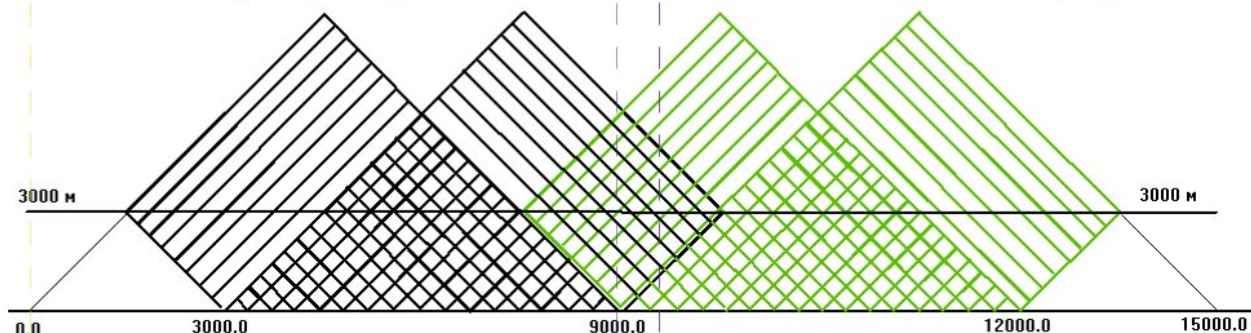
Известно, что в морских условиях для надежной регистрации обменных волн достаточной интенсивности обычно следует использовать источники повышенной (в 2-2.5 раза) мощности, чем при регистрации только продольных волн. В мелководных бассейнах эффективная мощность излучений ограничена.

Возникает вопрос: достаточна ли мощность применяемого группового источника возбуждений и позволяет ли проектная методика работ решить основ-

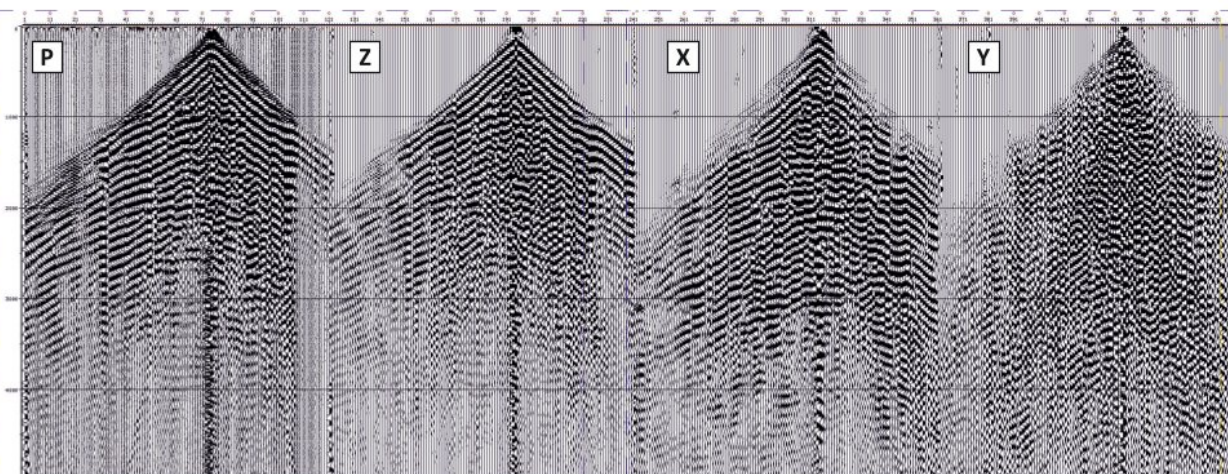
ную геологическую задачу: прослеживание отражающих горизонтов в осадочном чехле в интервале отложений Т – РСм (триас – поверхность фундамента) в поле продольных (PP) и обменных (PS) волн?

Ответ на этот вопрос можно найти в приведенном ниже материале статьи.

На рисунке 4 представлена типичная сейсмограмма, зарегистрированная системой «XZone Marsh Line». Пункт возбуждения помещен вблизи центра расстановки приемного устройства с



▲ Рис. 3. Схема наблюдения при сейсмических исследованиях по методике МОВ ОГТ 2D/4C на примере двух единичных расстановок (зондов).



▲ Рис. 4. Сейсмограмма, зарегистрированная системой «XZone Marsh Line».

поперечным отклонением от него ≈ 10 м.

Сейсмограмма представлена в реальных амплитудах. Фильтрация при воспроизведении 3.5 – 100.120 Гц. Расположение регистрируемых компонент на сейсмограмме такое же, как отмечено на рисунке.

Очевидно, что в связи с малыми глубинами водного бассейна совместная обработка P и Z компонент (PZ-суммирование) лишена смысла.

Поскольку интенсивность обменных волн PS не зависит от азимутального угла, то направленностью установки «источник-приемник» в донном кабеле обладает система регистрации. В этом случае, можно использовать регистрацию только на одной компоненте X, в которой сосредоточена вся основная энергия колебаний в обменной волне отраженной от границы [4].

Следовательно, в условиях мелководного бассейна, каковым является Куршский залив, будем анализировать только сейсмограммы P и X компонент, а также результаты обработки монотипных продольных PP и обменных PS волн.

Рассмотрим результаты исследований на примере профиля 22, который пересекает в северо-западном направлении весь Куршский залив. На профиле размещается четыре расстановки (зондов)

приемного устройства. Протяженность профиля 24 км.

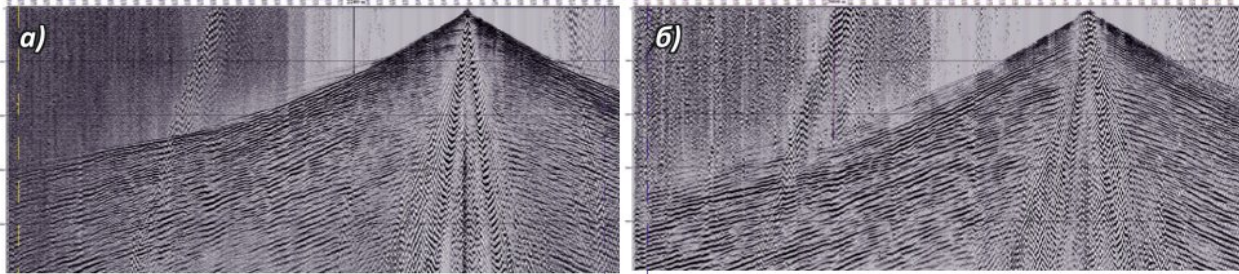
Регистрируемое волновое поле по каждой компоненте целесообразно рассматривать не по сейсмограммам ОПВ, а по последовательному воспроизведению одного канала, выбранного с каждой сейсмограммы, зарегистрированной в пределах расстановки приемного устройства (ОПП), что позволяет анализировать волновое поле без влияния статики на одном снимке для всех спектров удалений.

На рисунке 5 представлены сейсмограммы ОПП (выборка первого канала) с применением АРУ в окне 2000 мс по 3-му зонду (ПК 1480 - 1720), характеризующие волновую картину в поле волн PP и PS на фильтрации 3.5 – 100.120 Гц.

Сейсмограммы получены в интервале пикетов возбуждения 1360.0 - 1840.0 м. Максимальное расстояние приемного канала до пункта возбуждения составляет 9000 м. Уровни усиления при воспроизведении на сейсмограммах ОПП идентичны.

При сопоставлении результатов волновых полей на P и X компонентах по кажущимся скоростям и частотам в поле волн PS, регистрируемые волны явно свидетельствуют об обменном характере.

К помехам на сейсмограммах ОПП можно отнести волны рэлеевского типа,



▲ Рис. 5. Сейсмограммы ОПП, характеризующие волновую картину в поле волн PP (а) и PS (б).

▼ Табл. 2. Параметры спектров.

Наименование значений	Средняя величина компонент волнового поля	
	PP	PS
Ширина спектра на уровне 0.5, Гц	25 -68	9 - 20
Максимальная частота спектра, Гц	43	18

которые регистрируются в центральной части сейсмограмм. Они расходятся веером от пункта возбуждения, претерпевая ослабление со временем регистрации и удалением пункта возбуждения от пункта приема. Наибольшее их влияние на сейсмическую запись наблюдается в поле волн PS. Частотный спектр колебаний их 6 - 8 Гц. В центре веера помех на 3 - 4 каналах отмечается высокочастотная запись. Возникновение ее сопряжено с работающим двигателем судна взрыв-пункта, проходящего во время регистрации вблизи приемного устройства.

В волновом поле волн PS, судя по наклонам осей синфазности, регистрируются помимо обменных волн однократного обмена, обменные волны, возникшие в результате неоднократного обмена в процессе прохождения на нисходящих либо восходящих путях, которые в данном случае так же можно отнести к волнам помехам.

В волновом поле волн PP в ближней зоне до времени 2.0 с. регистрируются однократно отраженные волны, без каких либо интерференционных явлений. В дальней зоне отмечается цуг регулярных волн помех различной природы образования.

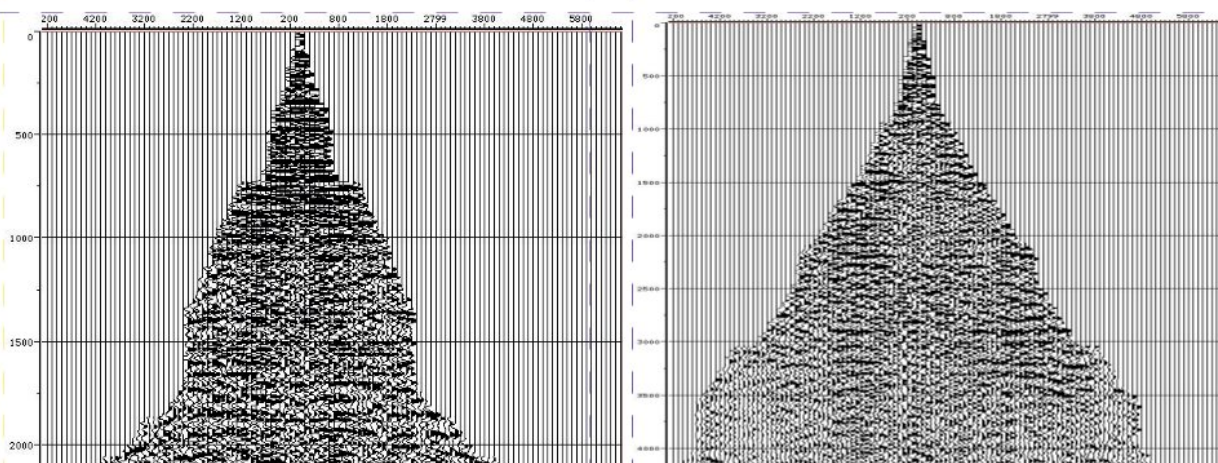
В Таблице 2 приведены основные спектральные характеристики для волн PP и PS, вычисленные в пространственно временных окнах, соответствующих одноименному (пермскому) стратиграфическому интервалу: для волн PP- 0.5 - 1.0 с, для волн PS - 1.0 - 2.0 с.

При обработке сейсмического материала большое воздействие на величину кратности суммирования оказывает автомьютинг, степень влияния которого зависит от используемого скоростного закона.

На рисунке 6 представлены сейсмограммы ОГТ монотипных и обменных волн после предобработки с введенной кинематикой, соответствующей каждому типу волн и автомьютингом, вырезающим сигналы с превышением его растяжения $\geq 30\%$.

Сейсмограмма ОГТ - PP представлена до времени 2.1 с, что отвечает интервалу записи осадочного чехла. Ей соответствует сейсмограмма ОГТ - PS до времени 4.2 с, сжатая на рисунке по времени в два раза. Обе сейсмограммы сформированы от одноименной точки отражения.

В сейсмограмме ОГТ - PP спрямленные годографы имеют явно выраженную прямолинейную форму изображения.



▲ Рис. 6. Сейсмограммы ОГТ - PP (а) и ОГТ - PS (б) после предобработки с введенными кинематическими поправками и автомьютингом.

Видно, что практически отсутствует влияние статических поправок. Совершенно иначе обстоит дело в поле обменных волн. На сейсмограмме ОГТ – PS спрямленные годографы динамически слабо выражены за счет более низкого соотношения сигнал/помеха и заметно влияние на них статических искажений.

По сейсмограммам ОГТ, представленным на рисунке 6, для каждого временного интервала можно определить удаления, по величинам которых не сложно вычислить количество трасс, входящих в сейсмограмму ОГТ на каждом временном уровне, а затем и действительную кратность.

Вычисленные значения удалений и кратности прослеживания отражающих

границ в пределах всего осадочного чехла, который во временной области в монотипных продольных волнах соответствует значениям $\approx 0.0 - 2.1$ с, а в обменных – $\approx 0.0 - 4.2$ с, сведены в Таблицу 3.

Из таблицы видно, что величина кратности соответствует проектным значениям.

На временных разрезах PS волн кратность наблюдений несколько выше, чем на монотипных продольных волнах для одноименных стратиграфических комплексов.

Максимальное удаление, которое участвует в суммировании, составляет ≈ 5000 м, а это говорит о том, что использование удалений, превышающих обозначенный предел, приводит к излишней

▲ Табл. 3. Удаления и величины кратности прослеживания.

Р компонента			Х компонента		
Время, с	Удаление, м	Кратность	Время, с	Удаление, м	Кратность
0.5	500	10	0.5	300	6
			1.0	700	14
1.0	1700	34	1.5	1300	26
			2.0	2000	40
1.5	2300	46	2.5	2600	52
			3.0	3300	66
1.7	2300	46	3.4	4200	84
			3.5	4500	90
2.0	3500	70	4.0	4700	94
			4.2	4900	98
2.1	4100	82			

трудоемкости при выполнении полевых работ.

Обработка сейсмического материала как для монотипных, так и для обменных волн выполнялась по одноименному графу в программном обеспечении «GeoCluster», но с индивидуальным подбором параметров для каждого типа волн. При этом имелось в виду, что в условиях пологого залегания отражающих границ годограф ОГТ - PS можно аппроксимировать гиперболой [4].

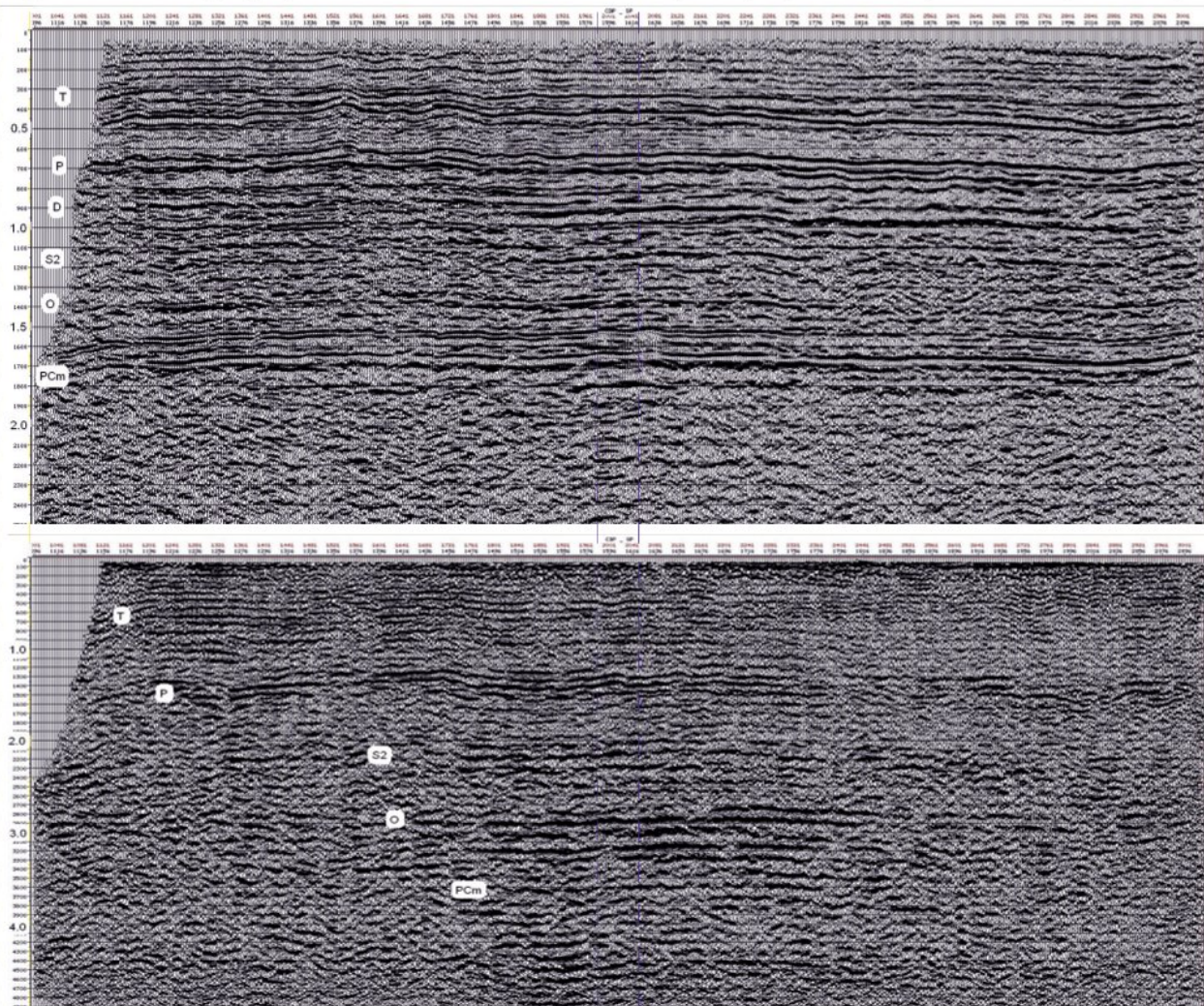
Применялась только автоматическая фазовая коррекция статических поправок. Обязательной процедурой для PS волн являлось обращение полярности амплитуд на пункте возбуждения для трасс одной ветки годографа.

Диапазон скоростей продольных волн располагается в интервале 1500 – 3200 м/с, обменных – 800 - 1750 м/с.

Критерием достоверности обработки волн PS являлась адекватность временных разрезов PP и PS волн во временных интервалах одноименных стратиграфических комплексах. Ориентировочно можно принять, что время горизонта в поле волн PS соответствует двойному времени в продольных волнах.

На рисунке 7 представлены временные разрезы PP и PS волн по профилю 22. При этом временной разрез PS волн для удобства идентификации отражающих границ по времени сжат в два раза.

На разрезе продольных волн нанесена стратиграфическая привязка отражающих



▲ Рис. 7. Временные разрезы PP (а) и PS (б) волн по профилю 22 (бин=12.5м, $\Sigma 120$).

горизонтов, принятая в отчете «Поисковые сейсморазведочные работы МОГТ в Юго-Восточной части Куршского залива», 1994 г. Можно отметить, что прослеживание горизонтов на разрезе РР волн уверенное, динамически выраженное во всей толще осадочного чехла.

На временном разрезе обменных PS волн отображаются все те же горизонты, что и на разрезе продольных волн, но, к сожалению, с гораздо меньшей степенью достоверности. Отождествление одноименных границ на разрезе обменных волн проведено с некоторой степенью условности на основании прослеженных горизонтов в центральной части профиля. Несомненно, на качество прослеживания отражающих границ оказывают влияния поверхностные условия, в данном случае, состояние морского дна. В центральной части профиля дно водоема твердое, песчаное и это установленный факт. На окончаниях профилей, из которых юго-восточный упирается в береговую линию залива, а северо-западный находится в прибрежной зоне Куршской косы, не исключено, что дно водоема имеет иное строение и это приводит к необходимости учета статических поправок.

Коррекция статики считается ключевым и, вместе с тем, наиболее трудным шагом при обработке записей обменных отраженных волн. Отсутствие программ эффективной автоматической

коррекции статических поправок по годографам обменных волн не позволило представить конечный результат обработки в надлежащем виде.

Основное, что можно вынести из сопоставления представленных временных разрезов – это то, что методика работ с проектными параметрами позволяет получать продольные и обменные волны от одних и тех же стратиграфических границ во всем диапазоне осадочного чехла.

Мы рассмотрели обработку сейсмического материала на ЭВМ на обменных волнах в условиях горизонтального залегания отражающих границ. Если вычисления номинальной кратности определять для общего случая, то здесь необходимо учитывать соотношения V_p/V_s . Так, например, для соотношения $V_p/V_s = 2$ истинная номинальная кратность в рассматриваемых вариантах временных разрезов продольных и обменных волн распределиться следующим образом (Таблица 4).

Как видно из Таблицы 4, только при «центральной» схеме наблюдения и только при условии объединения двух соседних бинов номинальная кратность на временных разрезах РР и PS волн становится одноименной и равномерной («центральная» схема наблюдений, бин = 25 м).

▼ Табл. 4. Варианты временных разрезов для РР и PS волн.

Тип регистрируемой волны	Номинальная кратность, размер бина 12.5 м,	Номинальная кратность, размер бина 25 м,
<i>«Смешанная» схема наблюдений</i>		
РР	$\Sigma 120$	$\Sigma 240$
PS	$\Sigma 120 - 240$	$\Sigma 220 - 360$
<i>«Центральная» схема наблюдений</i>		
РР	$\Sigma 60$	$\Sigma 120$
PS	$\Sigma 40 - 80$	$\Sigma 120$

Это очень важный факт, так как совершенно очевидно, что анализ и обработку горизонтальных и вертикальных компонент имеет смысл выполнять по однотипной сетке бинов, то есть с бинами единого размера и единой номинальной кратностью.

Выводы

1. Анализ рассмотрения результатов исследований по профилю 22 показывает, что мощности применяемого группового источника возбуждений и проектная методика работ позволяют решить основную геологическую задачу: прослеживание отражающих горизонтов в осадочном чехле в интервале отложений Т – РСм (триас – поверхность фундамента) в поле продольных (PP) и обменных (PS) волн в условиях Куршского залива.

2. «Смешанная» схема наблюдений не является идеальным вариантом для выполнения производственных исследований, но ее применение обеспечивает наибольшую производительность в мелководных транзитных зонах при ограниченном количестве заборного приемного оборудования.

3. Аналитические вычисления показывают, что при профильных исследованиях по методике МВС схема наблюдения на профиле должна быть однотипной для каждого возбуждения (центральная, фланговая и т. д.). Только в этом случае при обработке сейсмического материала, объединяя соседние бины, можно получать временные разрезы PP и PS волн с одноименным их размером и единой номинальной кратностью.

4. Даже самые скромные оценки показывают, что при сейсмических наблюдениях по методике МОВ ОГТ 2D/4C применение 4-х компонентного донного кабеля длиной 6000 м, в отличие от донных станций с количеством не

менее 500, как минимум в два раза, увеличивают затратную часть полевого этапа исследований.

5. Перед началом многоволнового профилирования рекомендуется постановка рекогносцировочных зондирования по оценке волнового поля PP и PS волн с длиной годографа, превышающего в два раза глубину самого глубокого интересующего горизонта. По результатам исследований можно будет оценить методику наблюдения, в частности: Xмах, мощность излучающего устройства, кратность наблюдения.

6. Исследования МОВ ОГТ 2D/4C по данному Государственному контракту показывают, что применение многоволновой сейсморазведки для решения задач нефтяной геологии выходят на стадию широкого опытно-промышленного применения.

Литература

1. Архипов А.А. Приемные системы для морской многоволновой сейсморазведки в России. К вопросу о приоритетах // Приборы и системы разведочной геофизики. 2002 г, № 2, 16–18 с.
2. Борисов А.С. Многоволновая сейсморазведка (МВС). Казань. Учебно-методическое пособие, 2012 г, 30 с.
3. Куликов В.А. и др. Многоволновая сейсморазведка (Часть III). Новосибирск, курс лекций, 2007 г, 182 с.
4. Пузырев Н.Н., Поперечные и обменные волны в сейсморазведке. М. Недра, 1967 г, 287 с