

Сейсмический комплекс для регистрации преломленных волн на дальних и сверхдальних удалениях

Никитин Александр Владимирович, Покровский Сергей Павлович, Яковлев Андрей Сергеевич, Амелин Николай Владимирович
Геология без границ (Geology Without Limits)

Введение

Надежная скоростная модель является основой для получения качественных сейсмических разрезов и выполнения миграционных преобразований. Точность построения скоростных моделей по результатам морских сейсморазведочных работ зависит от многих факторов, таких как: длина сейсмической косы, максимальный набор зарегистрированных удалений источник-приемник, геологическое строение исследуемой среды, углы наклона геологических границ, диапазон самих скоростей в изучаемом разрезе и т.д. Морские работы, проводимые по стандартной методике МОВ-ОГТ с применением буксируемых сейсмических кос, технически ограничены максимальной длиной сейсмической косы и соответственно набором регистрируемых удалений источник-приемник. Таким образом, получаемые в результате проведения работ скоростные модели могут быть недостаточно точны для построения качественных разрешенных сейсмических разрезов, особенно в сложных сейсмогеологических условиях. Одним из способов повышения точности построения скоростных моделей является использование преломленных волн, зарегистрированных на дальних и сверхдальних удалениях.

Оптимизация процесса регистрации преломленных волн

В настоящее время регистрация дальних и сверхдальних удалений производится с помощью автономных донных станций или при проведении морских сейсмических работ в многосудовом варианте. К сожалению, объем работ, проводимый с использованием данных методик, достаточно мал. Основными причинами являются малая производительность и высокая стоимость проведения данных видов работ. Например, стоимость проведения работ в многосудовом варианте увеличивается пропорционально количеству используемых сейсмических судов. Применение донных станций ведет к неэффективному использованию задействованного флота и персонала: во время расстановки или сбора донных станций, судно-источник с командой находятся в режиме ожидания [Lewis et al., 2016].

Для оптимизации процесса регистрации преломленных волн на удалениях в разы превышающих длины используемых в настоящее время буксируемых сейсмических кос был разработан сейсмический комплекс FloatSeis™. Данный комплекс включает в себя: дрейфующие автономные регистрирующие устройства GWL Seismobuoy™, технологический контейнер для транспортировки и работы с регистрирующими устройствами, программное обеспечение контроля качества в совокупности с запатентованной методикой проведения полевых работ.

Основной причиной повышения эффективности и экономической целесообразности проведения работ с помощью сейсмического комплекса FloatSeis™ для регистрации преломленных волн на дальних и сверхдальних удалениях, является тот факт, что полевые работы с предлагаемым техническим решением проводятся одновременно с морскими исследованиями с буксируемыми сейсмическими косами. Пневматическая группа сейсмического судна одновременно служит источником регистрируемых сейсмических волн, как для буксируемой косы, так и для дрейфующих автономных регистрирующих устройств GWL Seismobuoy™. Регистрирующая аппаратура расставляется с сейсмического судна без какого-либо вмешательства в процесс проведения стандартных работ МОВ-ОГТ 2Д. Таким образом, не требуется проведения отдельного исследования или использования дополнительного сейсмического судна.

Использование технологического контейнера для транспортировки, зарядки и обслуживания регистрирующей аппаратуры обеспечивает быструю мобилизацию/демобилизацию сейсмической партии, а также снижает общие требования, предъявляемые судам для проведения работ, т.е. не требуется дополнительно оборудованного помещения лаборатории, а также места на используемом судне для хранения аппаратуры сейсмического комплекса. Данные факторы также способны значительно снизить общую стоимость проведения сейсмических исследований для регистрации преломленных волн с помощью сейсмического комплекса FloatSeis™.

Процесс проведения сейсмических работ с помощью сейсмического комплекса FloatSeis™ представлен на рисунке 1. Постановка регистрирующей аппаратуры происходит с борта сейсмического судна одновременно с ходом проведения сейсмических работ МОВ-ОГТ с буксируемой косой. Процедура разделения волновых полей последующих выстрелов дает возможность регистрировать преломленные волны от глубинных горизонтов на сверхдальних удалениях и в то же время иметь избыточное лучепокрытие из-за плотного распределения точек отстрела, совпадающих с шагом пунктов возбуждений для работ МОВ-ОГТ. После того как требуемый набор регистрируемых удалений источник-приемник набран (определяется на этапе проектирования полевых работ), вспомогательное судно начинает последовательный сбор с акватории регистрирующей аппаратуры. Процесс постановки и сбора автономных дрейфующих модулей происходит безостановочно до завершения проводимых работ. Таким образом, производительность полевых работ с сейсмическим комплексом FloatSeis™ приблизительно равняется производительности работ МОВ-ОГТ 2Д с буксируемыми сейсмическими косами.

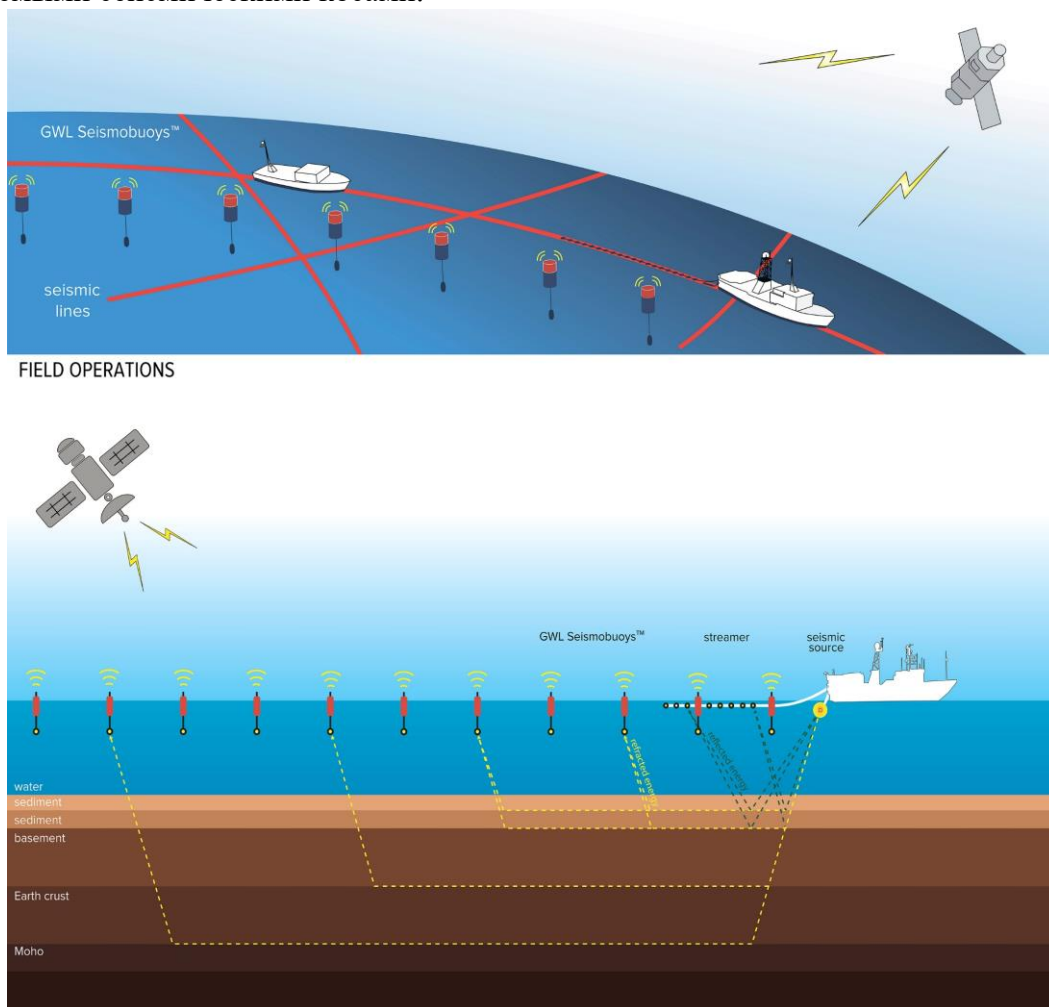


Рис 1. Методика проведения сейсмических работ с помощью сейсмического комплекса FloatSeis™ для регистрации преломленных волн на дальних и сверхдальних удалениях

Регистрирующая аппаратура сейсмического комплекса

Для регистрации сейсмических волн используются дрейфующие автономные регистрирующие устройства **GWL Seismobuoy™** (рис. 2). В конструкции регистрирующего устройства используется высокочувствительный гидрофон. Диапазон регистрируемых частот используемого гидрофона специально расширен в сторону низких частот. Это позволяет записывать низкочастотные преломленные волны от глубинных границ, тем самым увеличивая общую глубину исследований.

Технические параметры	
Частотный диапазон	1–1000 Hz
Чувствительность гидрофона	-191-/± dBV re 1 µPa @ 20°C, 27.22 V/bar
Разрядность АЦП	24 bits
Шаг дискретизации	8; 4; 2; 1; 0.5; 0.25 ms
Точность привязки сейсмических данных по времени	80 µs
Слежение в реальном времени за местоположением	Канал связи
Автономность по питанию	До 11 дней непрерывной регистрации сейсмических данных

Рис 2. Регистрирующая аппаратура сейсмического комплекса на борту судна и основные технические параметры устройства

Система мониторинга в режиме реального времени позволяет следить за ходом регистрации данных (процесс протекания записи, статус флеш-памяти), состоянием регистрирующей аппаратуры (статус устройства, заряд аккумуляторных батарей, показания акселерометра, датчиков температуры и влажности), а также за ее местоположением (онлайн позиционирование с точность до 2м). Постоянный контроль за уровнем влажности внутри устройства дает возможность заметить возможную разгерметизацию корпуса во время проведения работ и предотвратить утерю оборудования, а самое важное – зарегистрированных сейсмических данных. Проблесковые маяки с углом обзора 360 градусов и видимостью порядка 2 км в ночное время суток позволяют находящимся в акватории проведения работ судам избегать столкновений с регистрирующей аппаратурой сейсмического комплекса. В результате увеличивается общая надежность системы, точность проведения исследований, а также безопасность проведения морских работ и мореплавания.

Регистрирующая аппаратура сейсмического комплекса **FloatSeis™** также как и автономные донные станции используется в морской среде. Коррозионная агрессивность морской среды контролируется большим количеством факторов, таких как соленость, температура, процент растворенного газа, скорость потоков воды, степень турбулентности вихревых движений и т.д. [Schumacher, 1979]. Во время проведения сейсмических работ с автономными донными станциями, они подвержены ускоренному воздействию коррозии. Таким образом, производственные работы сроком более 2 месяцев могут потребовать дополнительного парка оборудования [Stone et al., 2016]. Корпус **GWL Seismobuoy™** исполнен из предназначенного для тяжелых условий эксплуатации поливинилхлорида повышенной стойкости, что делает устройство стойким к коррозии, легким по весу и недорогим в изготовлении, но надежным и долговечным в эксплуатации при проведении морских сейсморазведочных исследований.

Примеры использования сейсмического комплекса

Впервые сейсмический комплекс был опробован в условиях Гайано-Суринамского осадочного бассейна в первом квартале 2016 года. Шаг постановки дрейфующих автономных сейсмических модулей составлял 6 км, расстояние между пунктами возбуждения равнялось 50 метрам. Объем группового сейсмического источника для возбуждения упругих колебаний был порядка 116 литров. Целевая глубинность исследования составляла до 15 км с проектными регистрируемыми удалениями до 90 км. В результате проведения работ было получено более 1000 км сейсмических данных с регистрацией преломленных волн на сверхдальних удалениях до 120 км (рис. 3).

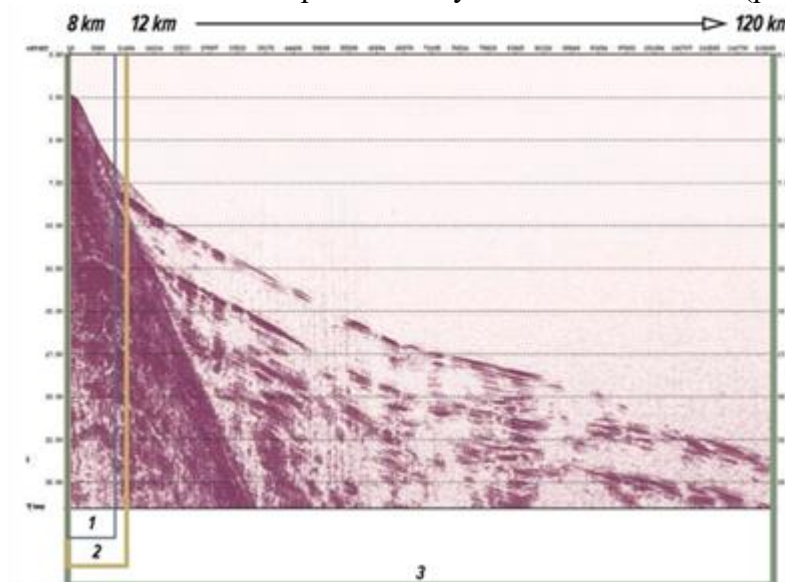


Рис 3. Монтаж данных, зарегистрированных с помощью буксируемой сейсмической косы (1+2), с данными полученными с помощью сейсмического комплекса FloatSeis™ (3): 1. Набор удалений до 8 км – стандартная сейсмическая коса; 2. Набор удалений до 12 км – сейсмическая коса для проведения региональных работ; 3. Набор удалений до 120 км – данные с дрейфующего автономного регистрирующего устройства. При проведении морских сейсмических работ с помощью буксируемых плавающих кос, набор удалений 12-120 км, содержащий полезную сейсмическую информацию, обычно отсутствует из-за технических ограничений, связанных с применением только буксируемых сейсмических кос

Повторное применение сейсмического комплекса проходило в Баренцевом море (Норвежский сектор) в четвертом квартале 2016 года. Шаг постановки дрейфующих автономных сейсмических модулей составлял 3,5 км, расстояние между пунктами возбуждения равнялось 37,5 метрам. Объем группового сейсмического источника для возбуждения упругих колебаний был порядка 100 литров. Целевая глубинность исследования составляла до 4 км с проектными регистрируемыми удалениями до 25 км. В результате проведения работ было получено более 100 км сейсмических данных с регистрацией преломленных волн на дальних удалениях до 30 км, в несколько раз превышающих длину активной расстановки буксируемой сейсмической косы. Линия профиля, отработанного с применением разработанного сейсмического комплекса, находилась в зоне сочленения нескольких структурных элементов. Сейсмический разрез МОВ-ОГТ был осложнен дифрагированными волнами, разломными нарушениями, соляными телами, а также кратными волнами помехами 2-6 порядка. Использование альтернативной скоростной модели, построенной на основе данных преломленных волн, зарегистрированных на дальних удалениях с помощью разработанного сейсмического комплекса, позволило удалить кратные волны помехи, достичь лучшей разрешенности сейсмического разреза и добиться большего коэффициента корреляции при сопоставлении с имеющимися скважинными данными.

Заключение

Представленный сейсмический комплекс в совокупности с разработанными методикой и способом сбора сейсмических данных позволяет регистрировать полезные сейсмические волны на дальних и сверхдальних удалениях источник-приемник. Зарегистрированный дополнительный набор данных, включая преломленные волны в первых вступлениях, содержит в себе информацию о распределении скоростей упругих колебаний в исследуемой среде. Полученная в результате обработки альтернативная скоростная модель позволяет добиться улучшения сейсмической записи МОВ-ОГТ (подавление кратных волн помех, удаление регулярных шумов и т.д.), и повысить точность миграционных преобразований как во временной, так и в глубинной области.

Список литературы

Lewis, B. et al. Taking Ocean-bottom Seismic to the Next Level with Efficient Acquisition: 76th Conference & Exhibition, EAGE, Extended Abstracts, Tu STZ0 04. – 2016.

Schumacher, M. Seawater corrosion handbook. William Andrew Publishing – 1979.

Stone, J.A. et al. Results from a Recent Ocean Bottom Node Field Trial, in a Shallow Water and High Current Environment, Indonesia: 76th Conference & Exhibition, EAGE, Extended Abstracts, Tu STZ0 05. – 2016.