



Е. Г. Жемчужников
А. В. Зимовский
Р. С. Точилов

ФГУНПП "СЕВМОРГЕО", САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
ФГУНПП "СЕВМОРГЕО", САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
ФГУНПП "СЕВМОРГЕО", САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЕЙСМИЧЕСКИХ ДАННЫХ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ ТОЧЕК ПРИЁМА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ РАБОТ МОВ ОГТ В ТРАНЗИТНОЙ ЗОНЕ

АННОТАЦИЯ. Полевые исследования любых геофизических полей (в т. ч. сейсмических) не имеют прикладного значения без знания точных координат точек измерений. В силу применяемых методик классических морских и сухопутных сейсморазведочных работ координаты точек отстрела и приёма принимаются точными (до аппаратной точности привязки). Совсем иная ситуация имеет место при работе с донными небуксируемыми косами в транзитных зонах (на глубинах менее 30 м). В этом случае координаты нахождения сенсоров на дне существенно отличаются от координат сброса сенсоров в воду. Учитывая, что при обработке полевых данных МОВ ОГТ кинематическая поправка сильнее всех прочих поправок и процедур изменяет вид волнового поля, очевидна важность знания истинных координат сенсоров. Эти координаты могут быть определены по рабочим сейсмограммам.

Цель данной статьи - классифицировать основные особенности среды и методики наблюдений и рассмотреть их влияние на выбор оптимальных параметров работы на примере программы Verify-pro.

Как известно, сами по себе полевые исследования любых геофизических полей не имеют прикладного значения без знания точных координат точек измерений.

При обработке полевых данных 2D и 3D сейсморазведочных работ МОВ ОГТ [5] кинематическая поправка (NMO) сильнее всех прочих поправок и процедур изменяет вид волнового поля - спрямляет гиперболические годографы сейсмограмм ОСТ однократно-отражённых волн. В формулу вычисления кинематической поправки τ (для горизонта, расположенного на двойном вертикальном времени t_0) входят офсет трассы x и скорость ОГТ $V_{\text{ОГТ}}$ горизонта t_0 , определённая скоростным анализом:

$$\tau = (t_0^2 + x^2/V_{\text{ОГТ}}^2)^{1/2} - t_0.$$

Удаление x , в свою очередь, определяется исходя из координат точек отстрела и приёма трассы. Более того, $V_{\text{ОГТ}}$ также зависит от x . Отсюда следует исключитель-

ABSTRACT. Any geophysical explorations (include seismic) are useless without of exact coordinates of observations points. Classical sea- and land explorations has in mind exact coordinates of shot- and receiver points (to DGPS or other hardware precision). Totally different situation exists by seismic explorations in transition zones. In this cases the receivers coordinates on the bottom are very different from the the coordinates of receivers drop-in-water points. In view of NMO has the highest influence on appearance of seismic wave field (reflection method CDP) - it is very important to know exact receivers coordinates on the bottom. It is possible to calculate these coordinates by use of ordinary seismic data sets.

ная важность точного определения координат точек отстрела и приёма любых систем наблюдения МОВ ОГТ.

Коррекцией кинематики проблему неточности координат точек приёма решить принципиально невозможно: существующие алгоритмы коррекции кинематической поправки задействуют, по сути, операцию уточнения $V_{\text{ОГТ}}$, а не координат. Координаты считаются точными и не подлежащими изменению.

В силу применяемых методик классических морских и сухопутных работ координаты точек отстрела и приёма принимаются точными (до аппаратной точности привязки).

При сухопутных работах получение координат этих точек не является проблемой - они определяются с аппаратной точностью применяемого метода привязки (инструментального или спутникового) [3]. При морских работах с буксируемыми косами координаты каждого сенсора определяются интерполяцией по прямой координат привязочных буев или по данным пингеров - коса между ними также принимается прямолинейной [2], что достаточно точно выдерживается при её буксировке; координаты точки отстрела определяются по GPS.

Совсем иная ситуация имеет место при работе с донными небуксируемыми косами в транзитных зонах (на глубинах менее 30 м) [4]. В этом случае координаты нахождения сенсоров на дне могут существенно отличаться от координат сброса сенсоров в воду. Различие тем больше, чем больше глубина, скорость течения, скорость судна-расстановщика. Кроме того, не исключены технологические смещения сенсоров за счёт “протяжки” косы, её зацепов за подводные препятствия, смещения косы с сенсорами при сильных волнениях и т. п. Иными словами, сенсоры донной косы лежат “неизвестно где”.

Конечно, можно установить пингеры у каждого сенсора для его точной привязки, но такая система очень дорога (стоимость одного пингера не менее \$1000), поскольку современные транзитные расстановки 3D насчитывают до 1500 каналов.

Альтернативная мера состоит в использовании программ привязки сенсоров донных кос по результатам анализа времени прихода водной и(или) преломлённых волн к данному сенсору от рабочих отстрелов. При этом координаты точек отстрела считаются “точными”, погрешность их определения есть аппаратурная погрешность DGPS привязки центра источника энергии, реализуемой на судне-источнике.

Относительная “молодость” сейсморазведочных работ в транзитных зонах - в России они начали проводиться с 1998 г. [1] (3D работы, Варандей-море, ГНПП “Севморгео”) - объясняет дефицит программ привязки сенсоров по первым вступлениям водной и(или) преломлённых волн.

На настоящее время известны следующие пакеты обработки, которые включают программы вычисления истинных координат сенсоров:

- VISTA-7.0 (GEDCO, Canada, 2008);
- APEX-12.3 (EDS, USA, 2002);
- Geocluster-5.0 (CGGVeritas, France, 2008).

Работы в этом направлении проводились также А. А. Пылаевым и Л. Г. Тамкун из НИИ радиофизики С.-Петербургского государственного университета в 2001 г. Ими была создана программа под ОС DOS, но она не проходила полномасштабное тестирование на реальных полевых материалах и последующую сертификацию.

Вышеуказанные программы вычисления истинных координат сенсоров предоставляют обработчику возможность широкого выбора процедур и параметров в зависимости от конкретных геолого-геофизической и гидрологической обстановок, от параметров и конфигурации системы наблюдений и т. п.

В настоящей статье даётся классификация основных особенностей среды и методик наблюдений и рассматривается их влияние на выбор оптимальных параметров работы на примере программы Verify-pro (Exploration Design Software, Houston, USA), входящей в пакет APEX.

Входными данными программы являются рабочие сейсмограммы ОПВ, координаты точек отстрела (фактические) и координаты точек приёма (проектные или точки сброса гидрофонов). Выходными данными являются координаты точек приёма (истинные) и листинг

статистики решений (отклонения истинных положений от положений сброса (или проектных), число векторов офсетов, участвовавших в решении и т. д.).

Вычисление координат нахождения гидрофонов на дне выполняется методом обратных засечек из точек отстрела по первым вступлениям водных и(или) преломлённых волн, входящим в лицензионный пакет Verify-pro. В результате решения формируются два файла:

- файл вычисленных координат;
- файл листинга статистики.

Вычисление координат точек приёма состоит из следующих основных процедур:

1. Потрассовый (автоматический или ручной) выбор первых вступлений (FB), водной и(или) преломлённых волн.

Автоматический режим наименее трудозатратен - и по времени, и по силам, но выделенные FB могут на самом деле принадлежать высокоамплитудным помехам (рис. 1). Ручной режим свободен от последнего недостатка, но чрезвычайно трудозатратен (рис. 2).

2. Вычисление априорных скоростей как частного априорных офсетов и времён FB.

Данная процедура полностью формализована.

3. Построение поля скоростей (зависимость априорных скоростей от офсета для каждой трассы).

Данная процедура полностью формализована.

4. Графическая (или цифровая) отбраковка по полю скоростей FB, принадлежащих помехам или волнам, не принимаемым в обработку (рис. 3).

Выбираются области точек (офсет-скорость), соответствующие скоростям волн, которые будут участвовать в решении (водная, преломлённая, рефрагированная), или максимально допустимое расхождение (в мс) между фактическим и расчётным временами FB. Решение принимает обработчик.

5. Горизонтальное осреднение скоростей по офсетам - в скользящем окне выбранной ширины. Осреднённая скорость принимается в качестве истинной скорости выбранной волны.

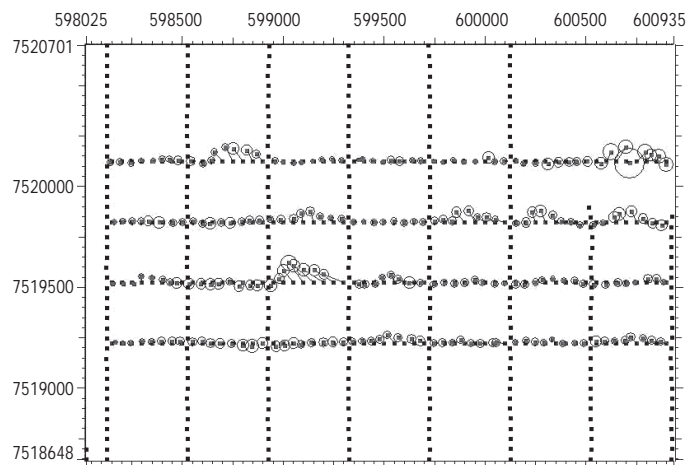


Рис. 1. (3D)

Ширина окна есть компромисс между детальным учётом латеральной вариации скорости выбранной волны и её латеральной выдержанностью.

6. Получение множества офсетов для каждого сенсора умножением истинной скорости волны на все FB его сейсмограммы ОПП.

Данная процедура полностью формализована.

7. Нахождение облака возможных истинных координат сенсора путём засечек по найденным офсетам из всех точек отстрела, участвовавших в решении. Определение

истинной координаты сенсора как центра облака возможных решений; определение дисперсии полученного решения как радиуса облака.

Данная процедура полностью формализована.

8. Вспомогательные утилиты: моды, визуализации различного рода, импорт-экспорт файлов координат и связей в различных форматах, занесение координат в заголовки трасс, пересчёт бинирования и т. п.

Недостатки метода:

В то время как пингеры работают по водной акустической волне УКВ-диапазона, рабочие сейсморазведочные пневмоисточники и гидрофоны имеют резкое падение спектра возбуждения и восприятия уже после 200 Гц. Следовательно, нельзя ожидать лучшей точности единичного измерения, чем длина водной волны частотой 200 Гц, т. е. 7,5 м.

Преимущества метода:

- Не требуется дополнительного дорогостоящего оборудования акустической привязки. Программа Verify-pro в качестве исходного материала принимает рабочие базы данных, полученные в ходе полевых работ МОВ ОГТ.
- Вычисленное положение сенсора можно тем больше приблизить к истинному, чем большее число офсетов различных длин и азимутов участвует в решении.
- В транзитных зонах толщина слоя воды зачастую настолько мала, что прямая водная волна (в т. ч. УКВ-диапазона) не распространяется далее чем на 40 - 50 м; а, например, сенсоры, расположенные за отмелью, от точки отстрела акустически затенены - всё это делает невозможной их пингерную привязку. Программа Verify-pro позволяет осуществлять привязку и по преломлённым волнам в верхних слоях пород.
- Программа Verify-pro способна находить решения "в обе стороны" - как для координат сенсоров, исходя из точных координат точек отстрела, так и наоборот.
- Особенностью программы Verify-pro (имеющейся версии) является "врождённая" объективность, т. е. отсутствие отключаемой опции, дающей обработчику возможность автоматически отбраковывать заведомо неверные решения. Данная опция была бы очень полезна при обработке непродольных 2D-наблюдений

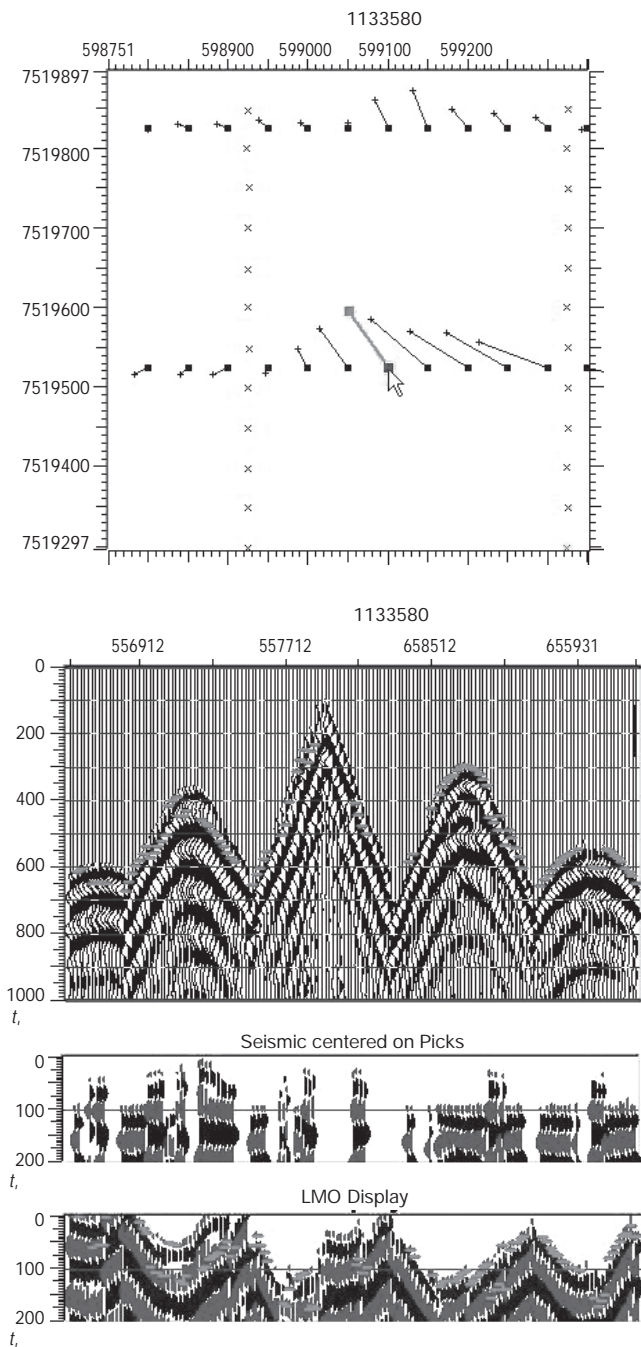


Рис. 2.

(3D)

LMO

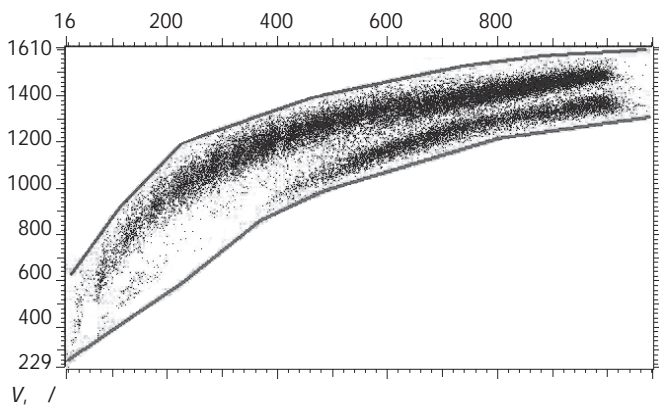


Рис. 3.

с линиями отстрела, лежащими по одну сторону от линии приёма, - в этом случае программа зачастую выдаёт решения, которые симметричны истинным относительно оси (линии отстрела). Причём эти “зеркальные” перебросы решений через линию отстрела зависят от набора векторов офсетов неустойчивым образом.

Лицензионный статус программы Verify-pro говорит лишь о корректности работы её вычислительных алгоритмов и адекватности интерфейса. Точность же вычислений координат сенсоров зависит от учёта обработчиком многих факторов, например:

Конфигурация системы наблюдения. Наиболее надёжное решение имеет место при равномерно распределённом отстреле в пределах расстановки. Надёжность решения падает при отстреле, находящемся за пределами расстановки, при увеличении дистанции от гидрофона до ближайшей точки отстрела и при уменьшении угла обзора из гидрофона на область точек отстрела, участвующих в решении. В целом, чем ближе к прямому углу осуществляется пересечение обратных засечек, тем большую точность имеет полученное решение. Данные обстоятельства должны учитываться при выборе вычисленных координат гидрофонов. Иными словами, чем более изометрична роза офсетов, участвующая в решении, тем оно будет точнее.

Толщина водного слоя. С ростом толщины водного слоя увеличиваются длина годографа и интенсивность прямой водной волны - эта ситуация благоприятна для повышения точности решений. Уменьшение толщины водного слоя вынуждает искать решения по засечкам преломлённой волны в верхних толщах - эти волны существенно низкочастотные, что приводит к понижению точности решений.

Акустический характер дна акватории. Акустическая жёсткость дна акватории определяет частотный спектр преломлённых волн в верхних толщах, а соответственно точность получаемых по ним решений.

Рельеф дна. Наиболее оптимален плоский рельеф дна. Резкие перепады глубин препятствуют прохождению прямой водной волны и искажают годографы преломлённых волн. Например, при работах на предельном мелководье, когда точки подрыва расположены на фарватерах, водная волна распространяется почти исключительно по фарватеру, как по волноводу.

Точность выноса в натуре точек отстрела и постановки точек приёма. Данный аспект существенен только при проведении 2D-работ. Как это ни парадоксально звучит, чем менее точно вынесены в натуре точки отстрела и приёма, тем точнее будут решения для точек приёма. Поскольку если при 2D-работах линии приёма и отстрела выставлены идеально прямо и коллинеарно, роза офсетов близка к 0 - 180°, - такой набор офсетов формирует засечки сильно “размазанные” в направлении *x-line* к линиям приёма. Точки отстрела и приёма, вынесенные в натуре с малой точностью (*random*), превращают 2D-работы в псевдо3D с более изометричной розой офсетов (особенно для малых офсетов), что повышает точность решения для точек приёма.

Точность определения координат центра источника. На настоящее время точность плановой привязки на аква-

ториях в режиме DGPS лежит в пределах от 0,1 м (стояночные измерения 5 - 10 мин) до 1,5 м на ходу. Высотная привязка всегда характеризуется меньшей точностью, чем плановая, в 2 - 3 раза. Таким образом, точность привязки подрывов существенно не ухудшает точность решений координат для точек приёма (даже с использованием водной волны).

Пространственная стабильность линии приёма во время отстрела. Данный аспект является самым существенным при получении решений. Вышеуказанные программы подразумевают отсутствие смещения точек приёма на протяжении всего отстрела расстановки. Такая ситуация чаще всего имеет место - отстрел донной косы начинают только после проведения тестов и чистки линии, на что уходит до 20 - 30 мин. За это время линия приёма успевает заякориться и стать неподвижной. В противном случае, если точки приёма смещаются во время отстрела (линия “ползёт”), положения точек приёма описываются не фиксированными координатами, а уравнениями движения. В этом случае вышеуказанные программы способны дать только усреднённые (за время отстрела) координаты для точек приема.

В зависимости от этих факторов обработчик определяет методику задания рабочих параметров программы.

Основные принципы такой методики:

- работа по всей сейсмограмме ОПП или выбор определённых волн, по которым целесообразно работать;
- принятие способа сканирования трасс и критерия выбора FB;
- определение оптимального диапазона длин и азимутов офсетов, участвующих в получении решения;
- учёт расположения сенсоров в расстановке (в центре, с краю и т. п.);
- учёт априорной точности выноса в натуре точек отстрела и приёма;
- распознавание выбранных волн на поле скоростей и отбраковка других волн и случайных сбросов;
- выбор горизонтального интервала осреднения скорости;
- выбор моды решения для координат сенсоров: повальная или индивидуальная, автоматическая или ручная;
- число итераций поиска решений (т. е. нахождение последующего решения на основе предыдущего);
- итерации поиска попеременных решений “в обе стороны” - для сенсоров и точек отстрела (если есть основание полагать, что координаты последних не являются точными).

Зачастую приёмная антенна GPS установлена на судне-источнике, а не над центром группового источника, буксируемого за кормой, и привязана к нему лишь промеренным вектором смещения (*lay-back*). В этом случае поперечные “рысканья” источника достигают 5 - 7 м. В результате зарегистрированные GPS-координаты точки отстрела и её фактические координаты различаются на длину “рысканья”, которую невозможно учесть. Отсюда следует неточность получаемого решения, в основе которого лежит определение скорости волн делением неправильного априорного офсета на истинное время FB.

