

О возможностях метода сейсмической локации бокового обзора с синтезированной апертурной антенны

Шайдунов Г.Я., Кудинов Д.С., Панько С.П. – Сибирский федеральный университет, г.Красноярск; Копылов М.А. – ОАО «Енисейгеофизика», г. Красноярск

Метод радиолокации бокового обзора (СЛБО) с синтезированной апертурой антенны является сегодня классическим способом повышения разрешающей способности картографических систем с базированием передатчика и приемника на одном носителе – самолете либо спутнике [1]. Этот метод используется также в технике картографирования морского дна, но с использованием акустического возбуждения и приема и с размещением всего комплекса на подводном или надводном судне.

Существо метода СЛБО (рис. 1) заключается в зондировании поверхности земли или морского дна последовательностью импульсов и приеме отраженных сигналов с боковой плоскости относительно транспортной базы (ТБ). При этом по мере движения ТБ, принимаемые сигналы запоминаются и суммируются, так что вдоль линии движения синтезируется виртуальная антенна длиной, равной суммируемому участку траектории ТБ.

Поскольку длина участка этой траектории намного превышает базу ТБ, то в

итоге эквивалентная длина синтезируемой таким образом антенны определяет высокую разрешающую способность метода СЛБО.

Известно, что при синтезе апертуры антенны длиной L разрешающая способность картографирования элементов грунта возрастает в $(L/\lambda)^2$ раз, где λ – длина используемой волны. Применительно к сейсморазведке подобный способ эквивалентен интерференционному методу обработки сигналов с использованием групп излучателей (источников) и сейсмоприемников, однако с той разницей, что те и другие перемещаются одновременно с фиксированным расстоянием между ними.

Этот метод известен в сейсморазведке [2] высокого разрешения под термином сейсмического локатора бокового обзора (СЛБО) с использованием рассеянных волн. Его преимущество – возможность изучения трещиноватости геологической среды.

Реализация метода СЛБО в движении возможно как на суше, так и на воде. В

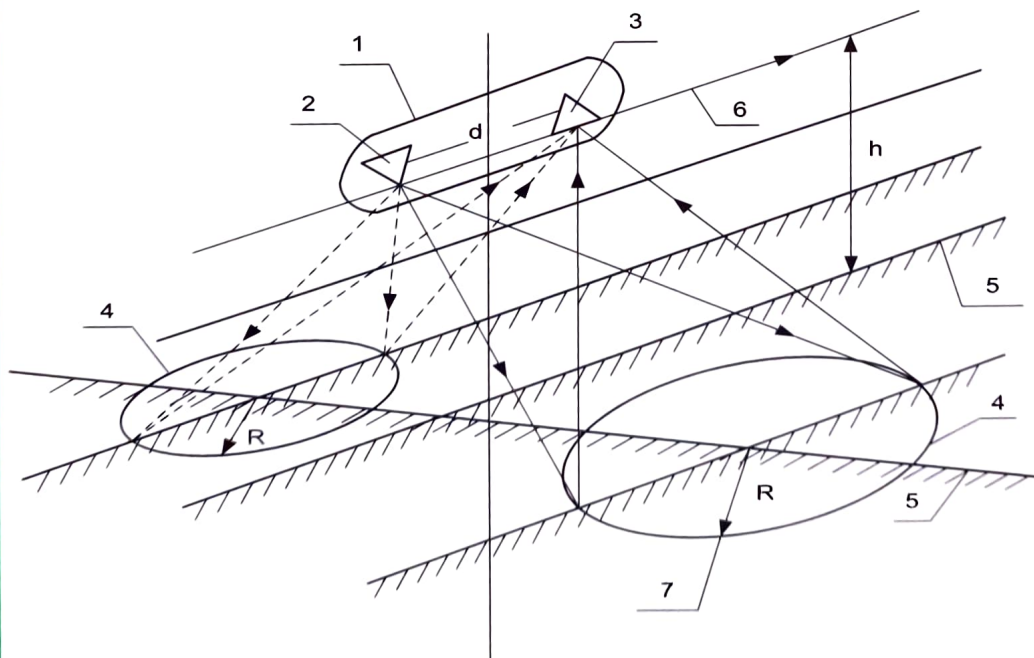


Рис. 1. Схема реализации метода СЛБО на одном транспортном носителе

1 – транспортная база (носитель); 2 – импульсный невзрывной излучатель; 3 – сейсмоприемник; 4 – отражающее пятно; 5 – поверхность отражающего слоя; 6 – линия движения носителя; 7 – радиус первой зоны Френеля; h – глубина положения отражающего слоя; d – база системы

первом случае синтез апертуры производится параллельно с обычной технологией обработки сигналов с той разницей, что георазрез строится по показаниям лишь ближайших к источнику сейсμοприемников или их «косичек».

Особенно актуальна подобная технология для морской сейсморазведки при работе с одного судна – носителя без использования буксируемых сейсмических кос, а также при работах по рекам.

Как известно, работа сейсморазведки в горно-таежных районах, подобных Восточной Сибири, сильно затруднена из-за необходимости использования тяжелой техники, поэтому реализация метода СЛБО в движении позволила бы решить многие задачи сейсморазведки, не реализуемые другими технологиями.

Для научно-технического обоснования метода необходимо решить следующий круг задач:

- оценить потери в отношении сигнал/помеха при снижении кратности обработки;
- определить оптимальную длину синтезированной апертуры с учетом неоднородности геологической среды;
- решить техническую задачу одновременной работы источника и сейсμοприемников на одной транспортной базе;
- разработать проект аппаратного комплекса сейсмического локатора и создать опытный образец водного варианта;
- провести опытно-методические работы в полевых условиях на суше, а также путем камеральной обработки готовых записей на известных месторождениях.

Рассмотрим задачу геокартирования в движении методом СЛБО двухслойного разреза с включением некоторой неоднородности в первом слое (рис. 2).

Отраженные сигналы по линии движения запишем как:

$$u_i(t) = U_{mi} e^{-\alpha_i t} \sin(\omega t_i + \varphi_i), \quad (1)$$

где $i=1, 2, 3$ – порядковые номера точек отражения; U_{mi} – начальная амплитуда; α_i – коэффициент затухания; ω – рабочая частота; t_i – время запаздывания на пути 2; γ_i ; φ_i – начальная фаза.

Запоминание и суммирование дает:

$$u\Sigma(t) = \sum_{i=1}^n U_{oi} e^{-\alpha_i t} \sin(\omega t_i + \varphi_i), \quad (2)$$

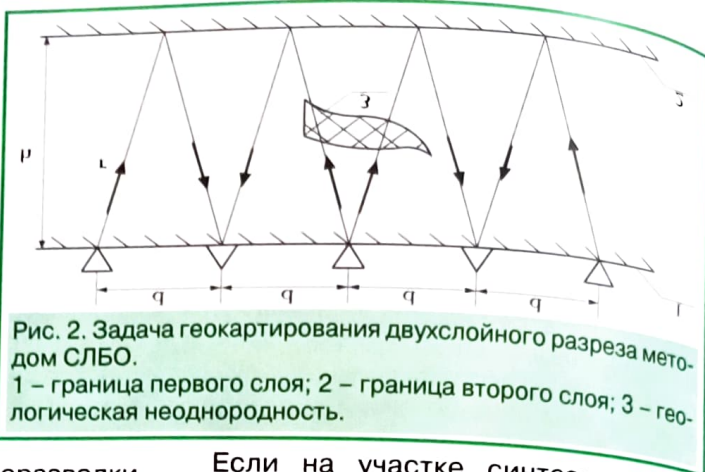


Рис. 2. Задача геокартирования двухслойного разреза методом СЛБО. 1 – граница первого слоя; 2 – граница второго слоя; 3 – геологическая неоднородность.

Если на участке синтезированной апертуры L имеются m акустических неоднородностей со скоростью сейсмических волн v_j , а средние скорости однородных участков v_{i-j} , то суммарный сигнал (2) запишется в виде:

$$u\Sigma H(t) = \sum_{i=1}^{n-j} U_{oi-j} e^{-\alpha_{i-j} t} \sin(\omega t_{i-j} + \varphi_{i-j}) + \sum_{j=1}^m U_{oj} e^{-\alpha_j t} \sin(\omega t_j + \varphi_j) \quad (3)$$

Если параметры неоднородностей носят случайный характер, то сумма (3) будет иметь следующий предел:

$$u\Sigma(t) = (n-j) U_{oi-j} e^{-(n-j)\alpha_{i-j} t} \sin(\omega t_{i-j} + \varphi_{i-j}) + \sum_{j=1}^m \sqrt{U_{oj}^2 e^{-2\alpha_j t} \sin^2(\omega t_j + \varphi_j)} \quad (4)$$

т.е. второй член (3) суммируется по закону случайных величин.

При этом отношение сигнал/помеха будет равно:

$$\frac{u_c(t)}{u_n(t)} = \frac{(n-m) U_{oi-m} e^{-(n-m)\alpha_{i-m} t} \sin(\omega t_{i-m} + \varphi_{i-m})}{\sqrt{m} \sqrt{U_{oj}^2 e^{-2\alpha_j t} \sin^2(\omega t_j + \varphi_j)}} \quad (5)$$

Отношение начальных амплитуд:

$$\frac{u_{co}}{u_{no}} = \left(\frac{n-m}{\sqrt{m}} - 1 \right) * \frac{U_{oi-m}}{U_{oi}}, \quad (6)$$

Если $n \gg m$, то:

$$\frac{u_{co}}{u_{no}} = \frac{n}{\sqrt{m}} * \frac{U_{oi-m}}{U_{oj}}, \quad (7)$$

Некоррелированные с сигналом шумы (микросейсмы) будут суммироваться при их независимости также как случайные величины, т.е. суммироваться 2 их дисперсии:

$$u\Sigma \Pi = n * u_{шн}, \quad (8)$$

Если на общей длине синтезированной апертуры L будет укладываться $n=L/d$ точек отсчета сигнала, то кратность метода СЛБО будет соответствовать этой величине.

Далее дадим оценку целесообразной длины синтезируемой амплитуды L , исходя из сферической симметрии диа-

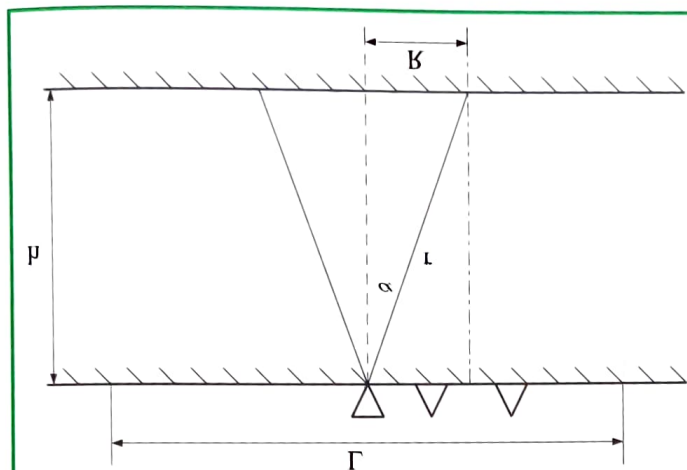


Рис. 3. К оценке целесообразной длины синтезированной апертуры

граммы направленности источника излучения (рис.3).

Будем считать, что площадь активной зоны отражающего слоя определяется радиусом зоны Френеля:

$$R = \sqrt{\frac{\lambda h}{\cos \alpha}}, \quad (9)$$

где λ – средняя длина излучаемой сейсмической волны.

В этом случае длина когерентного участка отражающего слоя будет равна:

$$L = 2R \quad (10)$$

Для примера, при $h=4000$ м; $\lambda=100$ м, $\cos \alpha=1$

$$L = 2\sqrt{4 \cdot 10^5} \approx 1400 \text{ м.}$$

$$\text{При } h=100 \text{ м; } \lambda=100 \text{ м, } L=200 \text{ м}$$

При движении носителя со скоростью v и интервале отсчета между рабочими точками Δt , число суммируемых сигналов на участке апертуры L будет равно:

$$h = \frac{L}{v \cdot \Delta t}, \quad (11)$$

Например, при движении судна со скоростью $v=10$ км/час ≈ 3 м/с, количество отсчетов для $L=1400$ м будет равно:

$$h = 1400 / 3 \cdot 10 \approx 46 \quad (12)$$

Эта величина и будет являться кратностью суммирования, а отношение сигнал/шум по амплитуде возрастает в $\sqrt{h} \approx 7$ раз.

Приведенные расчеты сделаны для случая зеркального отражения.

При малой транспортной базе, т.е. малом разnose между излучателем и приемником, реализовать вариант зеркальности отражения сложно из-за влияния ревербераций. По этой причине нужно использовать боковой обзор, что естественно снижает уровень полезного сигнала. Проблемы реализации метода для решения задач сейсморазведки в

Арктическом бассейне изложены в [3].

Заметим, что при малом разnose между излучателями и приемниками снимаются проблемы подавления низкоскоростных помех, поскольку они исчезают почти мгновенно после генерации очередного импульса излучения. Однако в этом случае необходимо на момент излучения демпфировать, т.е. «тормозить», сейсмоприемники, во избежание их повреждения и нелинейного насыщения.

При значительном линейном размере транспортного средства, в частности мор-

ских судов или подводных лодок, излучатели и приемники могут размещаться по разным концам судна, т.е. в кормовой и носовой частях. Это эквивалентно реализации метода рассеянных волн при боковом обзоре, используемого в практике наземной сейсморазведки.

Выводы

- Для работы в горнотаежной местности Восточной Сибири одним из вариантов проведения сейсморазведочных работ является использование рек и других водных бассейнов в качестве разведочных профилей с применением водных модификаций импульсных невзрывных источников «Енисей».
- Приведенные в статье расчетные оценки обосновывают целесообразность разработки технологии бокового обзора с синтезированной апертурой и размещением всего сейсмического комплекса, включая источник и приемник, на одной транспортной базе без использования сейсмосток.

Работа выполнена при финансовой поддержке федерального комплексного проекта П218.

Литература

1. А.П. Реутов, Б.А. Михайлов, Г.С. Кондратенков, Б.В. Бойков. Радиолокационные станции бокового обзора. М., Сов. радио, 1970, 360 с.
2. Ю. Бондарев. Сейсморазведка. Информационно-издательский центр УГГУ. Екатеринбург, 2007, 698 с.
3. Н.В. Левицкий, В.А. Детков, В.М. Мегеря, Г.Я. Шайдуров. О технологии сейсмических исследований глубоководных районов дна Северного ледовитого океана. Технологии сейсморазведки, №3, 2010 г., с 75-79.