

ЗАВИСИМОСТЬ АМПЛИТУДЫ СЕЙСМИЧЕСКОГО СИГНАЛА ОТ ВОЛН-СПУТНИКОВ НА МЕЛКОВОДЬЕ

М.В. Наумова

Научный руководитель профессор М.М. Немирович-Данченко

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
г. Томск, Россия*

Бурное развитие морской сейсморазведки сопровождается не только постоянным увеличением объемов работ, но и непрерывным повышением сложности решаемых задач. В последнее время растет объем работ на мелководье. Еще относительно недавно сейсморазведочные работы на мелководье носили разовый характер, проводились с опытно-методическими целями или не проводились вообще (например, на предельном мелководье). Однако сейчас начинает активно осваиваться даже такая сложная область, как переход от суши к морю – так называемая транзитная зона.

Известные площади мелководных зон довольно велики. Согласно данным [3], общая площадь шельфа РФ с глубинами моря до 20 м составляет более 700 тыс. км², при этом более 130 тыс. км² занимает предельное мелководье – первые метры глубины. Значимая часть этих площадей имеет очень высокие перспективы нефтегазоносности, где проведение разведочных работ представляется наиболее важным.

Часто под термином мелководье подразумевают различные глубины. Так, в задачах океанологии глубина 200 м – это мелководье. С другой стороны, средняя глубина внешнего края шельфа Мирового океана – 132 м – это средняя глубина мелководья. Северное море, наиболее изученное с геофизической точки зрения, считается мелководным, более 2/3 моря имеет глубину менее 100 м (в Северном море разработка британского месторождения Леман-Банк ведётся на глубине 30 м, Фортис – 115 м, Берил – 125 м, а норвежского Экофиск – на глубине 70 м).

Для наших условий принято считать мелководьем глубины до 20 м (платформа Приразломная расположена как раз на таком участке Баренцева моря). Глубины до 6-7 метров иногда называют предельным мелководьем, а зону с глубинами от 0 до 6 метров – переходной или транзитной зоной.

Основная проблема при работах на море вообще и на шельфе в частности – это относительная дороговизна закладки скважин. Поэтому для выполнения качественной инверсии желательно повысить разрешающую способность сейсмических данных. Это, в свою очередь, влечёт за собой требования к расширению частотного диапазона регистрируемых сигналов [2]. Главным фактором, препятствующим расширению диапазона регистрируемых сигналов в морской сейсморазведке, является дополнительное отражение-спутник от границы “вода – воздух”. Именно оно увеличивает длительность элементарного сигнала, а значит, сужает его спектр.

В морской сейсморазведке традиционную косу с датчиками давления буксируют обычно на глубине 6-8 м. Амплитуда излучаемого пневмопушкой (Airgun) сигнала будет при этом меняться в зависимости от глубины погружения косы.

Для некоторых частот время пробега от источника или гидрофона до поверхности воды составляет половину периода. Поскольку коэффициент отражения отрицателен, волна-спутник оказывается примерно в противофазе с восходящей отраженной волной, и обе волны почти гасятся. Максимальная амплитуда достигается на расстоянии четверти длины волны. Эти выводы иллюстрируются (рис. 1) результатами расчетов амплитудного множителя по формуле, приведенной ниже. Она определяет зависимость относительной амплитуды сигнала $A_{отн}$ от глубин погружения пневмопушки $d_г$ и косы $d_к$.

$$A_{отн} = 4 \cos\left(\frac{\pi}{2} + \frac{2\pi d_г f}{V}\right) \cos\left(\frac{\pi}{2} + \frac{2\pi d_к f}{V}\right) \quad (1)$$

Фазовый сдвиг в этом случае равен

$$\frac{\varphi_г}{2} + \frac{\varphi_к}{2} = -\left(\pi + 2\pi \left(\frac{f}{V}\right) (d_г + d_к)\right),$$

где f – частота источника в Гц, V – скорость звука в морской воде, зависящая от солёности и температуры и оцениваемая по формуле Вильсона [1]:

$$c(S, T, P) = c_0 + \Delta c_T + \Delta c_S + \Delta c_P + \Delta c_{STP}, \quad (2)$$

где $c(S, T, P)$ – скорость звука, м/с; T – температура, °C; S – солёность, промилле; P – гидростатическое давление, МПа.

$$c_0 = 1449.14 \text{ м/с,}$$

$$\Delta c_T = 4.5721T - 4.4532 \cdot 10^{-2}T^2 - 2.6045 \cdot 10^{-4}T^3 + 7.9851 \cdot 10^{-6}T^4$$

$$\Delta c_S = 1.39799(S - 35) + 1.69202 \cdot 10^{-3}(S - 35)^2$$

$$\Delta c_P = 1.63432P + 1.06768 \cdot 10^{-3}P^2 + 3.73403 \cdot 10^{-6}P^3 - 3.6332 \cdot 10^{-8}P^4$$

$$\Delta c_{STP} = (S - 35)(-1.1244 \cdot 10^{-2}T + 7.7711 \cdot 10^{-7}T^2 + 7.85344 \cdot 10^{-4}P - 1.3458 \cdot 10^{-5}P^2 + 3.2203 \cdot 10^{-7}PT + 1.6101 \cdot 10^{-8}T^2P) +$$

$$+ P(-1.8974 \cdot 10^{-3}T + 7.6287 \cdot 10^{-5}T^2 + 4.6176 \cdot 10^{-7}T^3) + P^2(-2.6301 \cdot 10^{-5}T + 1.9302 \cdot 10^{-7}T^2) + P^3(-2.0831 \cdot 10^{-7}T).$$

Для условий сибирского мелководья (глубины 0-30м) можно принять при $T = 10^\circ\text{C}$ скорость звука равной $c = 1489 \text{ м/с}$.

Заметим еще, что вычисления по формуле (2) показывают относительно слабую зависимость скорости звука в воде от глубины и солености, наибольшая зависимость – от температуры. При $T = 15^{\circ}\text{C}$ скорость составит $c = 1515$ м/с.

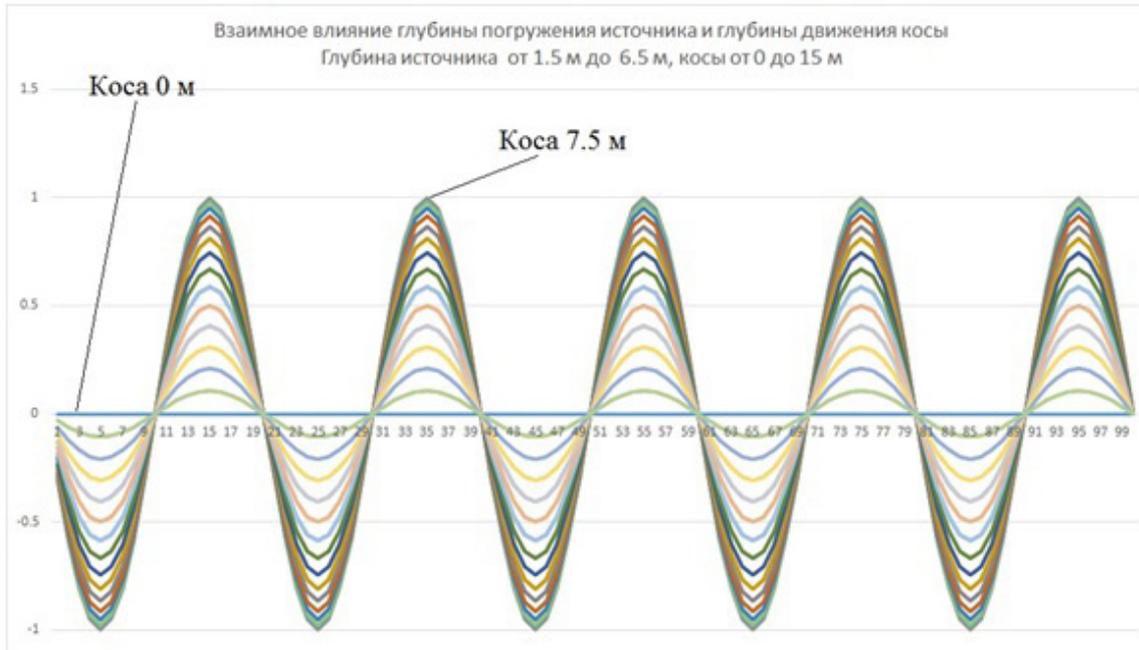


Рис. 1. Изменение относительной амплитуды сигнала для различных конфигураций «источник-коса»

Вычисления по формуле (1) производятся двойным циклом: внешний цикл отвечает за изменение глубины косы, внутренний – за изменение глубины источника. Расчеты проводились в среде VBA MS Office 2010.

Волнение на поверхности создает некоторое рассеяние и может даже способствовать улучшению качества записи. Так, в работе [4] показано, что если высота морских волн сопоставима с длиной волны, то ослабление в области минимумов и усиление в области максимумов всегда меньше 100%, особенно на высоких (> 10 Гц) частотах. Это связано с тем, что без учета волнения амплитуда записывается в виде произведения множителей (1), при этом нули любого сомножителя становятся нулями произведения. Для волнения амплитуда получается в аддитивном виде [4], что позволяет компенсировать влияние нулей:

$$A_{\text{отн}} = 2 + R_{\text{ва}}(\cos \varphi_g + j * \sin \varphi_g) + R_{\text{ва}}(\cos \varphi_c + j * \sin \varphi_c)$$

Здесь фазовые углы

$$\frac{\varphi_g}{2} = -\left(\frac{\pi}{2} + \frac{2\pi d_g f}{V}\right),$$

$$\frac{\varphi_c}{2} = -\left(\frac{\pi}{2} + \frac{2\pi d_c f}{V}\right).$$

Знание этих закономерностей позволяет настраивать взаимное положение системы «источник-приемник» для достижения лучших результатов.

Литература

1. Wilson W. D. Equation for the speed of sound in sea water //The Journal of the Acoustical Society of America. – 1960. – Т. 32. – №. 10. – С. 1357-1357.
2. Ампилов Ю.П. Сопоставление альтернативных технологий широкополосной морской сейсморазведки // Технологии сейсморазведки. – 2015. – № 2. – С. 77-85.
3. Гавельганц А.А., Серебренников Г.П. и др. Отчет по теме 105-80Н.: Совершенствование методики сейсмических исследований на мелководном шельфе (в 2-х частях). – Мурманск: НИИМоргеофизика ВМНПО «Союзморгео», 1983.
4. Причетт У. Получение надежных данных сейсморазведки: Пер. с англ. – М.: Мир, 1999. – 448 с.