

А.Н. Рутенко¹, М.Р. Jenkerson²

МОДЕЛИРОВАНИЕ АНОМАЛЬНЫХ ЭФФЕКТОВ, ОБНАРУЖЕННЫХ ПРИ РАСПРОСТРАНЕНИИ СЕЙСМОРАЗВЕДОЧНЫХ СИГНАЛОВ НА ШЕЛЬФЕ

¹ Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильчева
ДВО РАН, Россия, 690041, Владивосток, ул. Балтийская, 43,

Тел.: 8(423)231-1400, E-mail: rutenko@poi.dvo.ru

² ExxonMobil, Хьюстон, США,
E-mail: mike.jenkerson@exxonmobil.com

Аномальные отклонения экспериментальных значений потерь при распространении энергии сейсморазведочных сигналов на относительно мелководном 10–40 м северо-восточном шельфе о. Сахалин объясняются с помощью численного 3D моделирования, проведенного с помощью модового параболического уравнения.

Ключевые слова: сейсморазведка, распространение звука, неоднородный геоакустический волновод

При анализе параметров сейсморазведочных сигналов, измеренных в 2015 г. на северо-восточном шельфе о. Сахалин во время проведения компанией Эксон Нефтегаз Лимитед 4D сейсморазведки на Одоптинском лицензионном участке [1], были обнаружены аномальные акустические импульсные сигналы, сформированные на 20 и 10 метровых изобатах сейсморазведочными сигналами. В данной работе приводятся результаты специального моделирования распространения энергии сейсморазведочных сигналов вдоль трасс с пространственными неоднородностями в распределении значений скорости распространения продольных волн в дне – C_p , которые объяснили эффект аномально больших или малых потерь при распространении, а также неожиданные временные и частотные характеристики у акустических импульсов, сформированных в водном слое. Численное моделирование было проведено с помощью модового параболического уравнения – МПУ – в приближении взаимодействующих вертикальных нормальных мод и узкоугольного параболического уравнения в горизонтальной плоскости [2]. При моделировании использовались известные батиметрические данные и пространственные значения C_p в дне, но пришлось сделать некоторые гипотетические предположения, поскольку примененный метод оценки

значений C_p во время сейморазведки практически пропускает 10-метровый приповерхностный слой дна.

При последовательном анализе параметров низкочастотных акустических импульсов, измеренных у дна в точке акустического мониторинга Od-S-20 во время движения сейморазведочного судна по заданному геоакустическому профилю, были отмечены аномально высокие потери при распространении энергии сейморазведочного сигнала. На рис. 1 видно, что акустическая трасса p.1.1 – Od-S-20 пересекает пространственную аномалию, в которой скорость распространения продольных волн – C_p меньше, чем в водном слое. На рис. 1б она показана более подробно.

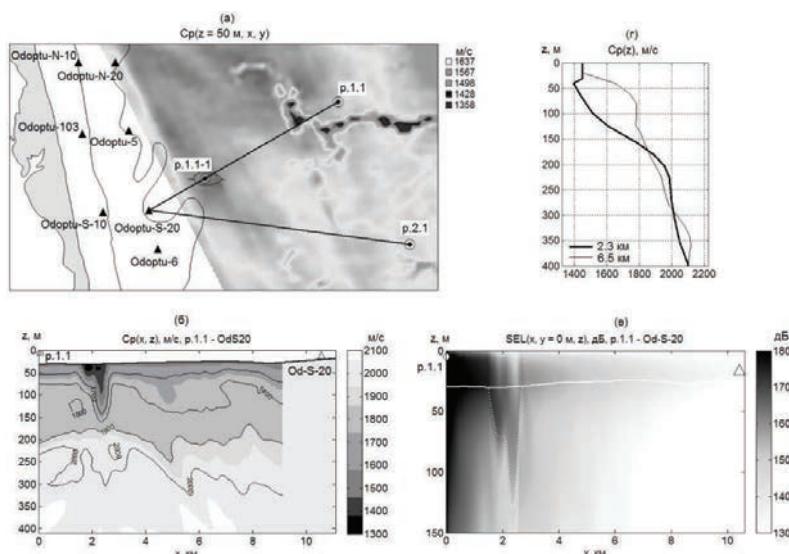


Рис. 1. Распределения значений – C_p в дне на горизонте 50 м – (а) и в вертикальной плоскости на трассе p.1.1 – Od-S-20 – (б), распределение значений $SEL(10–200 \text{ Hz}, x, y = 0)$ на этой трассе – (в) и значения $C_p(z)$ в двух точках на трассе – (г).

На рис. 1в приведено модельное распределение значений акустической экспозиции – $SEL(10–200 \text{ Hz}, x, y = 0, z)$ на трассе с аномальным распределением значений C_p в дне, которое показано на рис. 1б. Для модельного геофизического волновода, соответствующего трассе p.1.1 – Od-S-20, было введено 9 профилей C_p для значений x равных 0 (– начало трассы), 1.4, 1.85, 2.1, 2.35, 2.8, 5.5, 7.5 и 11 км. Значения C_p в волноводе между введенными профилями определены с помощью

линейной интерполяции. Расчеты, проведенные с помощью МПУ для 5 взаимодействующих вертикальных мод в двух модельных геоакустических волноводах р.2.1 – *Od-S-20* и р.1.1 – *Od-S-20* показали, что по сравнению с трассой, у которой дно однородно на трассе с акустической аномалией в дне, потери больше на 14.5 дБ в модели и на 13.6 дБ в эксперименте.

При рассмотрении временных и спектральных характеристик импульсных акустических сигналов, сформированных сейсморазведочными сигналами, распространившимися по акустическим трассам протяженностью больше 10 км, были отмечены аномальные эффекты во временной и частотной областях при распространении энергии сейсморазведочных сигналов в направлении берега. Эти трассы показаны на рис. 2 – р.1 – *Od-6* и р.2 – *Od-6*. Обе трассы имеют похожие пространственные значения $C_p(z, x)$, но согласно графикам $p(t)$, показанным на рис. 2, акустические импульсы, сформированные сейсморазведочными сигналами, излученными в точках р.1 и р.2, отличаются по энергии более, чем на 10 дБ. Расстояние между р.1 и р.2 равно 1.2 км.

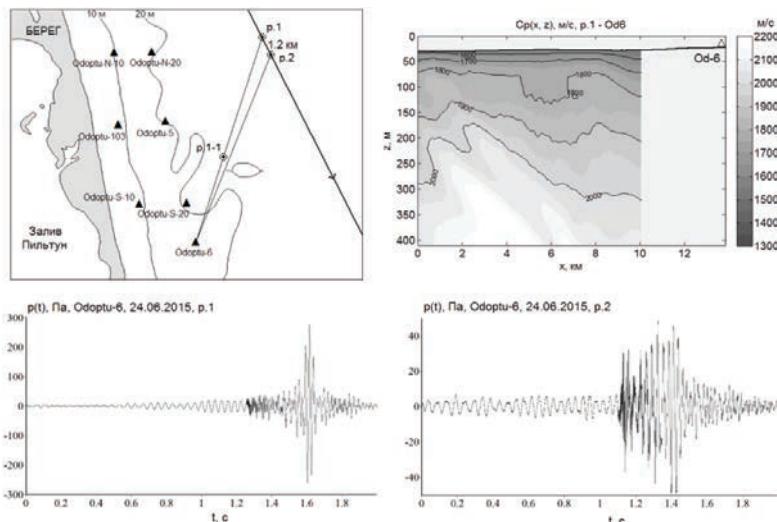


Рис. 2. Карта района. Вертикальное распределение значений $C_p(z, x)$ и акустические импульсы, измеренные в точке Od-6.

На рис. 2 видно, что на трассе р.1 – *Od-6* наблюдается распространение энергии сейсморазведочного сигнала в частотном диапазоне 30–60 Гц с аномально малыми потерями по сравнению с другими часто-

тами. Этую энергию переносят водно-донные моды, на распространение которых оказывает влияние осадочный слой, поэтому при численном моделировании мы локально ввели в дне приповерхностный слой осадков со значением $C_p = 1400$ м/с. Результаты численного моделирования распространения энергии сейсмозаведочного сигнала, проведенного с помощью МПУ для 3 адиабатических мод, в приближении «жидкого» дна для трассы р.1 – Od-6 представлены на рис. 3а. По амплитуде экспериментальный водно-донный импульс примерно в 3 раза больше модельного. Кроме того, в экспериментальном импульсе амплитуда водно-донного импульса более, чем в 10 раз, больше амплитуды водного импульса, а в модельном они почти равные. Для того, чтобы получить в модельном импульсе отношение амплитуды водно-донного импульса к амплитуде водного импульса, подобное экспериментальному, мы ввели локальные осадки со значением $C_p = 1400$ м/с. В этом случае мы получили модельный импульс, показанный на рис. 3б (sediment), по форме во временной области похожий на экспериментальный, но его значение SEL(10–200 Hz) на 16.6 дБ меньше, чем у экспериментального.

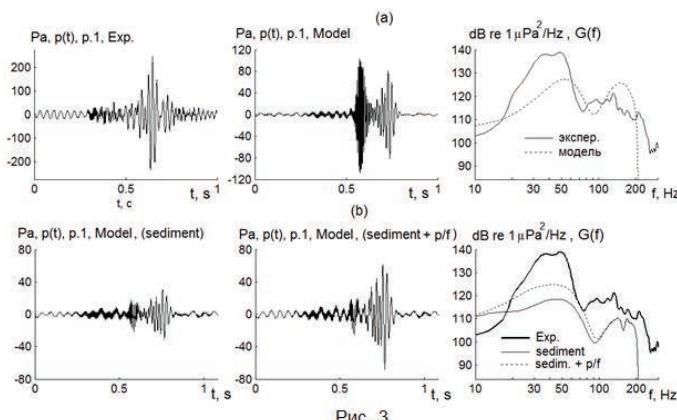


Рис. 3

В поле экспериментальных значений C_p аномальная «жесткость» в породах, слагающих дно в точке р.1, не выражена, поэтому остается предположить наличие в этой точке в дне «линзы» из вечной мерзлоты, которая, из-за близости к поверхности дна, не могла быть обнаружена. На рис. 3б видно, что при моделировании с учетом линзы из вечной мерзлоты, модельный импульс по форме более близок к экспериментальному, чем предыдущий.

Авторы выражают благодарность компании «Эксон Нефтегаз Лимитед» за поддержку данной работы.

Литература

1. Рутенко А.Н., Гриценко В.А., Ковзель Д.Г., Манульчев Д.С., Фершалов М.Ю. Методика оценки параметров, измеренных на Сахалинском шельфе акустических импульсов для многофакторного анализа их влияния на серых китов // Акуст. журн. 2019. Т. 65. № 5. С. 662–674.
2. Trofimov M.Y., Kozitskiy S.B., Zakharenko A.D. A mode parabolic equation method in the case of the resonant mode interaction // Wave Motion. 2015. Vol. 58. P. 42–52.

A.N. Rutenko¹, M. Jenkerson²

MODELING OF ANOMALOUS EFFECTS DISCOVERED IN PROPAGATION OF SEISMIC SIGNALS ON THE SHELF

¹ Pacific Oceanological Institute of Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences of V.I. Il'ichev, Russia, 690041, Vladivostok, ul. Baltiyskaya, 43,

Tel.: 8(4232) 31-21-20, E-mail: rutenko@poi.dvo.ru

²ExxonMobil, Houston, USA

Anomalous deviations of experimental values of seismic signal propagation losses on the relatively shallow – 10–40 m – Northeastern Sakhalin Shelf are explained with the use of numerical 3D modeling performed using the modal parabolic equation.

Keywords: seismic survey, sound propagation, heterogeneous geoacoustic waveguide

Acknowledgment: The authors would like to thank Exxon Neftegas Limited for their support of this work

References

1. Rutenko A.N., Gritsenko V.A., Kovzel D.G., Manulchey D.S., and Fershalov M.Y. Methodology of evaluating parameters of acoustic impulses measured on the Sakhalin Shelf for multifactor analysis of their impact upon gray whales. Acoust. Phys., 2019, Vol. 65, No. 5, pp. 662–674.
2. Trofimov M.Y., Kozitskiy S.B., and Zakharenko A.D. A mode parabolic equation method in the case of the resonant mode interaction. Wave Motion, 2015, Vol. 58, pp. 42–52.