Д.С. Манульчев

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГИДРОЛОГИИ НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ ИМПУЛЬСНЫХ СИГНАЛОВ НА ШЕЛЬФЕ

*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН
Россия, 690041, Владивосток, ул. Балтийская, 43,
Тел.: 8(423) 231-14-00, E-mail: manulchevds@gmail.com*

Приводятся результаты теоретического анализа влияния гидрологических условий на распространение энергии сейсморазведочных импульсных сигналов в геоакустических волноводах, характерных для северо-восточной части сахалинского шельфа. Распространение звука рассматривается в условиях однородной холодной и относительно теплой воды, а также в условиях выраженного сезонного термоклина. Приведена оценка влияния поверхностного прилива на потери при распространении звука.

Ключевые слова: сейсморазведка, распространение звука, скорость звука в воде, термоклин

Изучение влияния водного слоя на потери при распространении звука на северо-восточном шельфе о. Сахалин имеет важное значение для корректной оценки уровней антропогенных акустических полей [1], которые могут быть сформированы в прибрежных районах летне-осеннего нагула серых китов Охотско-корейской популяции, занесенной в Красную книгу РФ [2]. С помощью численного моделирования, опирающегося на результаты натурных измерений, показана зависимость потерь при распространении низкочастотных акустических импульсов в характерных для шельфа о. Сахалин пространственных распределений поля скорости звука в водном слое. В качестве антропогенных сигналов рассматриваются сейсморазведочные импульсы.

На рис. 1 показана акустическая трасса, вдоль которой распространялся низкочастотный сейсморазведочный импульс. Акустические донные станции N-10 и N-20 [3] расположены на 10 и 20-метровых изобатах соответственно. Источник сигнала расположен в точке S1 на горизонте 5 м с глубиной моря 33 м. Трасса S1 – N-10 ориентирована перпендикулярно берегу и имеет протяженность 10.7 км.

Рис. 1. Карта района с указанием точки излучения сейсморазведочного импульса – S1 и точек акустического мониторинга N-10 и N-20.

Анализ многолетних гидрологических исследований позволяет выделить 3 типовые пространственные структуры поля скорости звука на данном шельфе, которые формируются апвеллингами – водный слой однородный холодный и соленый – будем называть его α ; даунвеллингом – водный слой однородный теплый и распресненный – γ и третий тип воды с выраженным сезонным термоклинном – β (рис. 2).

Рис. 2. Скорости звука в водном слое для трех типовых гидрологических условий.

Для численного моделирования распространения энергии импульсного акустического сигнала применяется 3D модовое параболическое уравнение в приближении трех нормальных не взаимодействующих мод в вертикальной плоскости и узкоугольного параболического уравнения в горизонтальной плоскости, а также «жидкого» дна [4]. Моделирование проведено в частотном диапазоне

10–200 Гц. Функция эквивалентного точечного источника построена по методике, представленной в работе [5], по опорному акустическому сигналу, измеренному в точке N-20. На рис. 3 показаны для сравнения результаты моделирования импульсных сигналов и потери их энергии (SEL) при распространении в трех типовых гидрологических условиях, показанных на рис. 2.

На рис. 3 видно, что с наименьшими потерями сейсморазведочный импульс распространяется в холодной однородной воде со значением $C_w = 1445$ м/с. Параметр SEL для α -условия близок к экспериментальному значению. На значительных расстояниях (более 9 км) гидрологические условия оказывают влияние на распространение импульса во всем

Рис. 3. Спектры модельных импульсных сигналов, рассчитанные в волноводах с различными гидрологическими условиями (см. рис. 2) – (а) и зависимость параметра SEL от расстояния вдоль акустической трассы для профилей C_w : α , β и γ – (б).

частотном диапазоне. Причем на частотах 10–70 Гц потери для β -условия меньше, чем для γ -условия, а для частот 70–200 Гц ситуация противоположная. Таким образом, наличие выраженного термоклина играет существенную роль для относительно высоких частот, в то время как для низких частот важную роль играет не форма профиля C_w , а средние значения.

Приливные явления. Физически понятно, что вариации гидрологических характеристик воды, вызываемые приливообразующими силами, влияют на потери при распространении звука в данной акватории и, прежде всего, за счет изменения толщины водного слоя. Оценим этот эффект с помощью численного моделирования распространения тональных акустических сигналов с частотами 20 и 100 Гц на трассе, ориентированной перпендикулярно берегу «S – N-10 – N-20», показанной на рис. 4. Штриховая линия дна соответствует уменьшению толщины водного слоя на 1 м.

Рис. 4. Изменение уровня воды в районе Одорту, вызываемое приливом.

На рис. 5а, б показаны значения функции потерь (TL) для геоакустических сигналов, генерируемых на берегу с частотами 20 и 100 Гц. Во время прилива – сплошная линия и отлива – штриховая линия.

Рис. 5. Функция потерь $TL(x)$ при распространении звука с частотой 20 Гц (а) и 100 Гц (б) во время отлива (пунктирная линия) и прилива (сплошная линия).

Согласно результатам моделирования, изменения уровня моря в пределах 1 м, вызванные приливными явлениями, не оказывают существенного влияния на потери звука при распространении с берега на частоте 20 Гц. С увеличением частоты звука прилив способствует увеличению потерь звука. Например, на частоте 100 Гц на расстоянии 20 км потери увеличиваются на 2 дБ.

Автор выражает благодарность компании Эксон Нефтегаз Лимитед за поддержку данных исследований.

Литература

1. Рутенко А.Н. Влияние гидрологических условий на потери при распространении звука на шельфе // Акуст. журн. 2013. Т. 59. № 4. С. 469–474.
2. Владимирив В.А., Стародымов С.П., Афанасьев-Григорьев А.Г., Корниенко М.С. Распространение и численность серых китов охотско-корейской популяции в водах северо-восточного Сахалина // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. 2010. № 19. С. 50–64.
3. Рутенко А.Н., Борисов С.В., Ковзель Д.Г., Гриценко В.А. Радиогидроакустическая станция для мониторинга параметров антропогенных импульсных и шумовых сигналов на шельфе // Акуст. журнал. 2015. Т. 61. № 4. С. 500–511.
4. 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.
5. Рутенко А.Н., Гаврилевский А.В., Путлов В.Ф., Соловьев А.А., Манульчев Д.С. Мониторинг антропогенных шумов на шельфе о. Сахалин во время сейсморазведочных исследований // Акуст. журнал. 2016. Т. 62. № 3. С. 348–362.

D.S. Manulchev

**STUDY OF THE HYDROLOGY IMPACT ON THE PULSE
PROPAGATION ON THE SHELF**

*Pacific Oceanological Institute of Far Eastern Branch of Russian Academy
of Sciences of V.I. Il'ichev*

Baltiyskaya str., 43, Vladivostok, Russia, 690041,

Tel.: 8(423)231-14-00, E-mail: manulchevds@gmail.com

The work presents the results of a theoretical analysis of the influence of hydrological conditions on the energy distribution of seismic pulse signals in geoacoustic waveguides characteristic of the north-eastern part of the Sakhalin shelf. Sound propagation is considered in conditions of uniform cold and relatively warm water, as well as in conditions of pronounced seasonal thermocline. The influence of surface tide on losses during sound propagation is estimated.

Keywords: seismic survey, sound propagation, sound speed in water, thermocline

Acknowledgment: The author would like to thank Exxon Neftegas Limited for supporting these studies.

References

1. Rutenko A.N. Effect of hydrological conditions upon sound propagation losses on the shelf. *Acoust. Phys.*, 2013, Vol. 59, No. 4, pp. 469–474.
2. Vladimirov V.A., Starodymov S.P., Afanasiev-Grigoriev A.G., and Kornienko M.S. Distribution and abundance of Okhotsk-Korean gray whale population off Northeast Sakhalin. Research of the aquatic biological resources of Kamchatka and northwestern Pacific, 2010, No. 19, pp. 50–64.
3. Rutenko A.N., Borisov S.V., Kovzel D.G., and Gritsenko V.A. Radioacoustic station for offshore man-induced pulse and noise monitoring. *Acoust. Phys.*, 2015, Vol. 61, No. 4, pp. 500–511.
4. 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.
5. Rutenko A.N., Gavrilievskiy A.V., Putov V.F., Solovyov A.A., and Manulchev D.S. Monitoring of man-induced noises on the Sakhalin Shelf during seismic acquisition operations. *Acoust. Phys.*, 2016, Vol. 62, No. 3, pp. 348–362.