В.Е. Нечаюк¹, М.Р. Jenkerson¹, Д.Г. Ковзель², В.А. Гриценко²

**СКАЛЯРНО-ВЕКТОРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
АКУСТИЧЕСКИХ СЕЙСМОРАЗВЕДОЧНЫХ СИГНАЛОВ,
ИЗМЕРЕННЫХ АВТОНОМНОЙ СТАНЦИЕЙ КРАБ-19 НА
СЕВЕРО-ВОСТОЧНОМ ШЕЛЬФЕ О. САХАЛИН**

¹*ExxonMobil, Huston, USA*

E-mail: vladimir.nechayuk@exxonmobil.com

²*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева
ДВО РАН. Россия, 690041, Владивосток, ул. Балтийская, 43,
Тел.: (4232) 312120, E-mail: dgk@mail.ru*

Донная автономная акустическая станция со скалярно-векторным приемником Краб-19 содержит 3-осевой электромагнитный приемник колебательной скорости MiniSeis Monitor производства Geospace Technologies, 6-осевой компасный модуль НМС6343 от Honeywell, приемник акустического давления и плату электроники. Проведенные с применением Краб-19 натурные измерения скалярно-векторных характеристик сейсморазведочных сигналов на шельфе о. Сахалин могут быть использованы для оценки возможного их влияния на миграцию лососевых.

Ключевые слова: сейсморазведка, распространение звука, скалярно-векторный приемник

Сейсморазведочные работы и другая антропогенная деятельность на Сахалинском шельфе проводится в непосредственной близости от путей миграции анадромных видов рыб, включая промысловые виды лососевых. Также в районах разработки месторождений нефти и газа находятся зоны прибрежного промысла других видов водных биологических ресурсов. До настоящего времени оценка потенциального воздействия на них проводилась с использованием результатов измерений вариаций акустического давления и результатов численного моделирования полей акустического давления путем сопоставления с биологическими эмпирическими данными. Однако известно, что ихтиофауна обладает чувствительностью и к колебательной скорости. Некоторые виды рыб без плавательного пузыря воспринимают компоненты колебательной скорости лучше, чем давление акустического поля. С учетом последних публикаций в научной литературе [1, 2] о важности учета колебатель-

ной скорости при оценке воздействия антропогенной деятельности на водные биологические ресурсы, было принято решение о разработке, изготовлении и испытаниях скалярно-векторного приемника, позволяющего проводить длительные автономные измерения колебательной скорости в условиях мелководья на шельфе о. Сахалин.

При разработке новой автономной измерительной системы учитывался опыт изготовления и эксплуатации многоканальных автономных цифровых акустических станций «Отклик», оснащенных скалярно-векторными приемниками [3, 4]. Донная автономная акустическая станция со скалярно-векторным приемником Краб-19 вошла в состав измерительного комплекса Шельф-14 [5]. Конструктивно и функционально станция состоит из модуля датчиков (МД) и модуля регистратора, установленных в пирамидальной раме. Внешний вид МД показан на рис. 1б. В цилиндрическом титановом корпусе размещен 3-осевой сейсмометр MiniSeisMonitor производства Geospace Technologies, 6-осевой компасный модуль НМС6343 от Honeywell (3-осевые акселерометры и магнитные датчики) и плата электроники. Сверху и снизу корпуса МД расположены гидрофоны, образующие приемный преобразователь акустического давления. К сожалению, магнитный компас, входящий в состав модуля ориентации, оказался не работоспособен из-за сильного влияния магнитных полей датчиков колебательной скорости. По этой причине при обработке записей станции были использованы только данные акселерометров (для компенсации наклона МД), а ориентация МД в горизонтальной плоскости в ходе экспедиции определялась по акустическим сигналам от известных источников. МД крепится на резиновых амортизаторах в специальной раме, которая закрывается двумя полусферами

стекло-пластикового обтекателя. Этот узел размещается в верхней части пирамиды. Модуль регистратора с блоками питания крепится внизу, своим весом обеспечивая устойчивость пирамиды (рис. 1а).

С той же целью по ее нижним углам размещены дополнительные грузы. При постановке пирамиды вывешивается за борт

Рис. 1.

судна и отпускается. Грузы и «воздушный шар» обтекателя МД (вода замещает воздух в течении 10–20 с) обеспечивают правильную ориентацию пирамиды. От одного из углов пирамиды растягивается фал, оконеченный поплавком с акустическим размыкателем и якорем. При подъеме станции якорь сбрасывается и станция поднимается за всплывший конец фала. Функциональная схема станции показана на рис. 2. Аналого-цифровое преобразование измеряемых величин производится в МД, в непосредственной близости от первичных преобразователей, что снижает межканальное проникновение и наводки. В цифровой форме данные 4-х акустических каналов (V_x , V_y , V_z , P) и 9-ти каналов ориентации (трехканальный акселерометр и магнитометр, расчетные значения курса, наклона и крена) поступают в контроллер МД, где из них формируются пакеты, передающиеся в регистратор по последовательной шине. Подключение МД к регистратору производится по 4-проводной линии, включая питание. Малое число проводов дает возможность выполнить участок кабеля от МД до рамы обтекателя тонким гибким проводом, обеспечивая свободное смещение МД под воздействием акустической волны. Следует заметить, что МД является функционально законченным устройством. Последовательность вырабатываемых им пакетов данных совместима с форматом данных кабельных измерительных акустических систем серии DRT-08, разработанных и используемых в ТОИ ДВО РАН.

Рис. 2. Функциональная схема станции Краб-19.

Таким образом, МД может работать не только на регистратор Краб-19, но и на кабельную линию в режиме реального времени.

Модуль регистратора (см. рис. 2) аппаратно унифицирован с донной станцией Шельф-14. Процесс записи данных на карты памяти и структура файлов также подобны. Запись ведется в предварительно размеченные файлы, содержащие заголовки с дополнительной информацией – дата и время начала записи в файл, напряжение батарей, частота дискретизации, разрядность данных и т.д. Для электропитания Краб-19 используются два батарейных блока по 40 батареек типоразмера D, что обеспечивает время автономной работы до 5 месяцев. Точность измерения углов наклона модуля датчиков – 1° , разрешение 0.1° . Частота дискретизации по акустическим каналам в экспедиции 2019 г. была установлена 3600 Гц.

Проиллюстрируем работоспособность Краба-19 на натурных данных, полученных в 2019 г. во время сейсморазведки, проведенной компанией Эксон Нефтегаз Лимитед на прибрежном Одоптинском месторождении. На рис. 3 приведена карта с указанием точки постановки – $PV_{z,x,y}$ приемника на северо-восточном шельфе о. Сахалин и акустического профиля, по которому прошло сейсморазведочное судно. На профиле указано время для привязки результатов анализа параметров, измеренных станцией Краб-19 акустических импульсов к точкам их излучения. На этом рисунке видно, что на траверзе точки приема расстояние между судном и станцией было равно 2.6 км, и поскольку значения SEL у сигнала $V_x = V_y$, то эти ортогональные каналы ориентированы под 45° к линии, соединяющей Краб-19 с сейсморазведочным судном.

Рис. 3. Карта района натурных измерений с указанием геоакустического профиля, по которому прошло сейсморазведочное судно, и результаты анализа энергетического параметра SEL , определяющего величину антропогенного акустического воздействия сейсморазведочного сигнала на среду в точке приема.

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

Литература

1. Popper A.N., Hawkins A.D. The importance of particle motion to fishes and invertebrates // J. Acoust. Soc. Am. Vol. 143 (1), January, 2018.
2. Slabbekoorn, et. al. Population-level consequences of seismic surveys on fishes: An interdisciplinary challenge // Fish and Fisheries. 2019. 20:653–685.
3. Бондарь Л.Ф., Захаров В.А., Ковзель Д.Г., Рутенко А.Н. Автономные цифровые приемные системы и некоторые результаты их применения в исследованиях пространственной структуры полей прямых и рассеянных гидроакустических сигналов // Акуст. журн. 1991. Т. 37. № 6. С. 1098–1105.
4. Бондарь Л.Ф., Гриценко А.В., Захаров В.А., Ковзель Д.Г., Рутенко А.Н. Цифровая радиотелеметрическая система сбора и обработки гидроакустических сигналов и результаты ее применения в исследованиях характеристик морской реверберации // Акуст. журн. 1993. Т. 39. № 2. С. 223–229.
5. 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. журн. 2015. Т. 61. № 4. С. 500–511.

V.E. Nechayuk¹, M.R. Jenkerson¹, D.G. Kovzel², V.A. Gritsenko²

SCALAR-VECTOR CHARACTERISTICS OF ACOUSTIC SEISMIC SIGNALS MEASURED BY SELF-CONTAINED MEASURING STATION KRAB-19 ON THE NORTHEASTERN SAKHALIN SHELVE

¹*ExxonMobil, Houston, USA*

E-mail: vladimir.nechayuk@exxonmobil.com

Pacific Oceanological Institute Named After V.I. Ilyichov of the Russian Academy of Sciences Far Eastern Branch

Baltiyskaya Street, 43, Vladivostok, Russia, 690041,

Tel.: 8 (4232) 312120, E-mail: dgk@mail.ru

The bottom self-contained acoustic station with a scalar-vector receiver Krab-19 contains a 3-axial electromagnetic receiver of particle velocity Mini SeisMonitor of Geospace Technologies manufacture, a 6-axial compass module HMC6343 of Honeywell, an acoustic pressure receiver, and an electronic board. The on-site measurements of scalar-vector characteristics of seismic signal characteristics conducted with the use of the Krab-19 on the Sakhalin Shelf can be used for evaluating their possible impact on migration of salmon.

Keywords: seismic survey, sound propagation, scalar-vector receiver

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

References

1. Popper A.N. and Hawkins A.D. The importance of particle motion to fishes and invertebrates. *J. Acoust. Soc. Am.*, 143 (1), January, 2018.
2. Slabbekoorn et. al. Population-level consequences of seismic surveys on fishes: An interdisciplinary challenge. *Fish and Fisheries*, 2019, 20:653–685.
3. Bondar L.F., Zakharov V.A., Kovzel D.G., and Rutenko A.N. Autonomous digital acquisition systems and some results of their application in studying spatial structure of direct and dissipated hydroacoustic signals. *Akusticheskiy zhurnal*, 1991, Vol. 37, No. 6, pp. 1098–1105.
4. Bondar L.F., Gritsenko A.V., Zakharov V.A., Kovzel D.G., and Rutenko A.N. Digital radio-linked telemetry system for acquisition and processing of geoacoustic signals and results of its application in studying characteristics of sea reverberation. *Akusticheskiy zhurnal*, 1993, Vol. 39, No. 2, pp. 223–229.
5. Rutenko A.N., Borisov S.V., Kovzel D.G., and Gritsenko V.A. Radio-linked hydroacoustic station for monitoring parameters of man-induced impulse and noise signals on the shelf. *Akusticheskiy zhurnal*, 2015, Vol. 61, No. 4, pp. 500–511.