ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ

Самченко А.Н.*, Пивоваров А.А., Швырев А.Н., Ярощук И.О.

Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичёва ДВО РАН E-mail:*samchenco@poi.dvo.ru

Аннотация

В статье приводятся результаты экспериментальных исследований распространения низкочастотных акустических сигналов (33 Гц) на побережье залива Петра Великого Японского моря. Источник акустических сигналов опускался с борта маломерного судна в воду, а приемные системы были у береговой черты в воде и на суше. За счет использования трехкомпонентных виброметров стало возможно разделить принятые сигналы на различные типы волн (продольные, поперечные и поверхностные). Получены предварительные результаты расчета скоростных характеристик приходов различного типа волн на виброметры.

Ключевые слова: сейсмоакустика, гидроакустический излучатель, залив Петра Великого.

EXPERIMENTAL STUDIES OF THE DISTRIBUTION OF VARIOUS SPECIES OF SEISMOACOUSTIC WAVES IN THE COASTAL ZONE

Samchenko A.N.*, Pivovarov A.A., Shvyrev A.N., Yaroshchuk I.O.

V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences E-mail:*samchenco@poi.dvo.ru

Abstract

The article presents the results of experimental studies on the propagation of low-frequency acoustic signals (33 Hz) on the coast of Peter the Great Bay of the Sea of Japan. The source of acoustic signals descended from the board of a small boat into the water, and the receiving systems were at the coastline in water and on land. Through the use of three component vibrometers, it has become possible to divide the received signals into various types of waves (longitudinal, transverse and surface waves). The preliminary results of calculating the speed characteristics of the arrival of various types of waves on vibrometers are obtained.

Keywords: seismoacoustics, sonar emitter, Peter the Great Bay.

Введение

В сейсмоакустике существует несколько типов волн, распространяющихся в горных породах. В однородной изотопной среде распространяется два типа волн, которые называются: продольные, разряжения, сжатия, или Р-волны, и поперечные, сдвиговые, или S-волны. В натурных условиях, где имеется поверхность, разделяющая среды с различными упругими свойствами, наблюдаются волны, которые называются поверхностными, или рэлеевского типа [5]. Рэлеевские волны в зависимости от условий распространения (граница раздела сред вода – горные породы, воздух – горные породы) имеют значительные различия. Каждый тип распространения волн имеет свой характер движения в среде и скоростные характеристики. В данной работе приводятся экспериментальные исследования распространения различных типов волн на побережье, где источник звука помещался в водной среде, а приемные станции стояли как на берегу, так и в море. Подобная схема экспериментальных исследований в геофизике называется методом преломленных волн (МПВ), где расстояние между источником и приемниками звука много больше, чем глубина проникновения сигнала.

Сейсмоакустические исследования на побережье имеют важное прикладное значение при инженерно-строительных работах и поиске мест полезных ископаемых. С помощью сейсмоакустических исследований уточняют геологическое строение и упругие свойства горных пород.

На мысе Шульца расположена береговая экспериментальная станция института ТОИ ДВО РАН. На станции расположен уникальный исследовательский комплекс, в который входит в том числе и лазерный трехкомпонентный деформограф [1]. Деформограф успешно применялся в ряде экспериментальных исследований [2]. Кроме того, проводились экспериментальные исследования распространения акустических импульсных сигналов, излученных в воде, а принятых на суше, на мысе Шульца [4].

Приборная база

Источником акустических сигналов использовался с борта маломерного судна гидроакустический излучатель с несущей

частотой 33 Гц. Гидроакустический низкочастотный излучатель электромагнитного типа с генерацией акустических сигналов в полосе частот 25–40 Гц, с рабочей глубиной погружения до 20 м. Излучатель развивает эффективное звуковое давление на 1 метре от центра излучателя до 1 кПа.

Прием акустических сигналов велся на автономные регистраторы гидрофизических полей, стандартный гидрофон Bruel&Kjaer 8104 и 3 сейсмоакустические станции. Регистратор гидрофизических полей обладает максимальной рабочей глубиной погружения до 200 м и автономностью до 14 суток и возможностью синхронизации между собой и с другими устройствами комплекса [3]. Датчики расположены на внешней стороне пластикового герметичного корпуса, внутри которого расположена система регистрации и блок аккумуляторов. Система регистрации состоит из микроконтроллерного блока управления, твердотельной карты памяти microSD, 24-разрядного АЦП и предварительного усилителя для канала гидрофона, 16-разрядного АЦП для канала записи гидростатического давления и цифрового канала для цифрового датчика температуры. Датчик гидростатического давления позволяет с высокой точностью определять положение регистратора по глубине и в случае небольшой глубины погружения, определять характеристики поверхностного волнения. С помощью датчика температуры определяется структура и флуктуации поля скорости звука в точке постановки автономного регистратора.

Сейсмоакустическая станция представляет собой трехкомпонентный виброметр интеллектуальный цифровой Zet 7152. Виброметр имеет частотный диапазон от 0,05 до 400 Гц с динамическим диапазоном 176 дБ. Виброметры между собой имеют синхронизацию с помощью GPS-модулей 3 мкс. Автономность виброметра до 12 часов непрерывной работы.

Схема эксперимента

Эксперимент был проведен на побережье залива Петра Великого Японского моря (рис. 1). Излучение проводилось в двух точках, в бухте Витязь с глубиной места 28 м и в заливе Посьета с глубиной 170



Рис. 1. а) передвижной пост регистрации акустических сигналов и стандартный гидрофон Bruel&Kjaer 8104; б) виброметр интеллектуальный цифровой Zet 7152, установленный в поле; в) гидроакустический излучатель с несущей частотой 33 Гц; г) регистратор гидрофизических полей

места 42 м. Гидроакустический излучатель опускался с борта маломерного судна на глубину 12 м. Излучение проводилось на максимальной мощности излучателя. Сейсмоакустические приемные станции были установлены на перешейке между п-овом Гамова и мысом Шульца. Все станции были ориентированы осью X на север. Первый виброметр был установлен на железобетонный постамент на берегу моря на высоте 2 м от уровня моря. Второй виброметр устанавливался в глубине перешейка на высоте 15 м от уровня моря и третий на вершине перед обрывом с высотой 22 м от уровня моря. Регистратор акустических полей был установлен на дно на глубине примерно 2 м. Вблизи использовался стандартный гидрофон Bruel&Kjaer 8104 для уточнения уровня принятых сигналов.



Рис. 2. Схема эксперимента. Звездочками показаны точки излучения акустических сигналов. Пятиугольником отмечена точка приема регистратором гидрофизических полей и стандартным гидрофоном Bruel&Kjaer 8104. Фиолетовые круги – точки постановки виброметров

В эксперименте проводилось излучение гармонических и сложных фазоманипулированных сигналов (М-последовательностей) длиной 63, 127, 255 и 511 символов, с 4–20 периодами несущей частоты на символ. Конструктивные особенности излучателя обеспечивают также существенный уровень излучения нечетных гармоник, которые сохраняют способность сворачиваться, как и основной сигнал.

Основные результаты

Принятые сигналы на гидрофонах и виброметрах имеют одинаковый характер. Поэтому на рис. 3 приведены только нормированные корреляционные функции принятых сигналов с виброметров и математической моделью. Кроме того, длина М-последовательности качественно не повлияла на полученные результаты. На рис. 4 показан геологический разрез акустической трассы. Геологический разрез построен на основе сейсмоакустических данных, анализе свойств донных отложений и геологии берега [6, 7]. Однако необходимо отметить, что 172



Рис. 3. Нормированные корреляционные функции между принятыми на трехкомпонентных виброметрах Zet 7152 и математической моделью сигнала, Х-координата показана синим цветом, Y – зеленый, Z – красный: а) точка излучения в бухте Витязь, прием на виброметре № 1; б) излучение – бухта Витязь, прием – виброметр № 2; в) излучение – бухта Витязь, прием – виброметр № 3; г) излучение – залив Посьета, прием – виброметр № 2; е) излучение – залив Посьета, прием – залив Посьета, прием – виброметр № 3

все сейсмоакустические исследования проводились в отдалении от береговой черты и положение границ между геологическими слоями в модели является экстраполированным.

На рис. 3 а виден один пик на всех компонентах виброметра, поскольку излучение было проведено в бухте Витязь, где толщина ка-



Рис. 4. Геологическая модель акустической трассы. Звездочки – точки излучения, стрелочки – точки приема. І – слой песка различного гранулометрического состава, ІІ – гранитный слой

нала распространения сигнала была близка к его длине волны (рис. 4 левая часть). Канал распространения сигнала в данном случае – это водный слой и слой песка с близкими акустическими свойствами со скоростью продольных волн 1650 м/с. После, двигаясь по суше, сигнал, по всей видимости, начал разделятся на компоненты – продольную, поперечную и поверхностные волны. Так, в компонентах Х и У заметно раздвоение пика (рис. 3 б, в). На компоненте Z сигнал стал отставать от продольной волны, что может быть характерно для поверхностной волны, так как скорость поверхностных волн ниже, чем продольной. На рис. 3 г показаны нормированные корреляционные функции сигнала, излученного в заливе Посьета, принятого на виброметре № 1. В точке излучения из залива толщина канала уже примерно составила 2 длины волны. Таким образом, могли сформироваться разные типы волн и, кроме того, две поверхностные волны на границе гранитного и осадочного слоя и осадочный слой – вода. На рис. 3 г на компоненте Z ранее полученные скоростные характеристики поверхностных волн подтверждаются [2]. На рис. 3 д не прослеживаются приходы поверхностных волн, а лишь один пик, притом с большей интенсивностью, чем на компонентах Х и Ү. Канал распространения сигнала имеет очень сложную геометрию, что не позволяет проводить простыми методами математическое моделирование. В данном случае необходимо учитывать упругие свойства горных пород.

Заключение

На основе экспериментальных данных получены следующие результаты:

 Получен устойчивый уровень сигнала на всех сейсмостанциях и гидрофонах на расстоянии более 2 км при излучении сигналов как в бухте Витязь, так и со стороны открытой части залива Посьета.

 За счет использования трехкомпонентных виброметров стало возможным разделить принятые сигналы на разные типы волн (продольные, поперечные и поверхностные).

 Судя по разнице прихода основного пика (продольной волны) и полученных сигналов на компоненте Z виброметра, скорости поверхностных волн составили примерно 3100 и 1400 м/с. Работа выполнена по госзаданию номер: АААА-А20-120021990003-3 «Изучение фундаментальных основ возникновения, развития, трансформации и взаимодействия гидроакустических, гидрофизических и геофизических полей Мирового океана».

Литература

- 1. Давыдов А.В., Долгих Г.И., Кабанов Н.Ф. Применение лазерных деформографов в гидроакустике // Акуст. журн. 1995. Т. 41. № 2. С. 235–239.
- Долгих Г.И., Будрин С.С., Долгих С.Г., Овчаренко В.В., Пивоваров А.А., Самченко А.Н., Швырев А.Н., Чупин В.А., Ярощук И.О. Развитие технологии томографии земной коры шельфовых областей // Докл. АН. 2017. Т. 475. № 2. С. 210–214.
- 3. Пивоваров А.Н., Ярощук И.О., Швырев А.Н., Леонтьев А.П. Автономный регистратор гидрофизических полей. Патент на полезную модель № 171967 U1. Заявка № 2017109315/28 от 20.03.2017. Рег. от 22.06.2017.
- Рутенко А.Н., Боровой Д.И., Гриценко В.А., Петров П.С., Ущиповский В.Г. Мониторинг акустического поля сейсморазведочных импульсов в прибрежной зоне // Акуст. журн. 2012. Т. 58. № 3. С. 356.
- 5. Рэлей (Стретт Дж.В.) Теория звука. Том 1 (2-е изд.) М.: ГИТТЛ. 1955.
- Самченко А.Н., Карнаух В.Н., Аксентов К.И. Геолого-геофизические исследования верхней части осадочного чехла и геоакустическая модель шельфа залива Посьета (Японское море) // Тихоокеанская геология. 2013. Т. 32. № 1. С. 65–75.
- 7. Самченко А.Н., Ярощук И.О. Акустические параметры рыхлых донных отложений залива Петра Великого (Японское море) // Вестн. ДВО РАН. 2017. № 5. С. 130–136.

References

- 1. Davydov A.V., Dolgikh G.I., Kabanov N.F. Hydroacoustic applications of laser deformographs. Acoustical Physics. 1995. P. 41. № 2. P. 201–204.
- Dolgikh G.I., Budrin S.S., Dolgikh S.G., Ovcharenko V.V., Pivovarov A.A., Samchenko A.N., Shvyrev A.N., Chupin V.A., and Yaroshchuk I.O. Development of Tomographic Technology for the Earth's Crust in the Shelf Regions // Doklady Earth Sciences. 2017. V. 475. Part 1. P. 811–815.
- Pivovarov A.N., Yaroshchuk I.O., Shvyrev A.N., Leontiev A.P. Autonomous hydrophysical fields recorder. Utility Model Patent No. 171967 U1. Application No. 2017109315/28 of 03.20.2017. Registration from 06/22/2017. (In Russian).
- Rutenko A.N., Borovoi D.I., Gritsenko V.A., Petrov P.S., Ushchipovskii V.G., Boekholtb M. Monitoring the acoustic field of seismic survey pulses in the near-coastal zone // J. Acoust. Phys. 2012. T. 58. № 3. P. 326–338.

- 5. Rayleigh (Strutt John). Theory of sound. Vol. 1 (2nd ed.) M.: GITTL. 1955. (In Russian).
- Samchenko A. N., Karnaukh V.N. and Aksentov K.I. Geological and geophysical studies of the upper part of the sedimentary cover and geoacoustic model of the shelf of Posyet Bay (Sea of Japan) // Tikhookean. Geol. 2013. 32 (1). 65–75.
- Samchenko A.N., Yaroshchuk I.O. Acoustic parameters of friable bottom sediments of the Peter the Great Bay of the Sea of Japan. Vestnik of the Far East Branch of the Russian Academy of Sciences. 2017. No. 5. P. 130–136. (In Russian).