

ВИБРОСЕЙСМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА 500-КМ ПРОФИЛЕ БАБУШКИН, БАЙКАЛ – УЛАН-БАТОР, МОНГОЛИЯ

Валерий Викторович Ковалевский

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 6, доктор технических наук, заместитель директора, тел. (383)330-71-96, e-mail: kovalevsky@sscc.ru

Цырен Алексеевич Тубанов

Геологический институт СО РАН, 670047, Россия, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6а, кандидат геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией, тел. (3012)43-49-21, e-mail: siren65@mail.ru

Алексей Геннадьевич Фатьянов

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 6, доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией, тел. (383)330-60-46, e-mail: fat@nmsf.sccc.ru

Людмила Петровна Брагинская

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 6, ведущий программист, тел. (383)330-70-69, e-mail: ludmila@opg.sccc.ru

Андрей Павлович Григорюк

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 6, научный сотрудник, тел. (383)330-70-69, e-mail: and@opg.sccc.ru

Артем Дамбиевич Базаров

Геологический институт СО РАН, 670047, Россия, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6а, научный сотрудник, тел. (3012)43-49-21, e-mail: gin@gin.bsccnet.ru

В статье приведены результаты исследований характеристик волнового поля сейсмодвигателя Южнобайкальского полигона на 500-км региональном профиле: Бабушкин – Сухэ-Батор – Дархан – Улан-Батор в южном направлении от источника. Проведено математическое моделирование волнового поля на профиле регистрации для сравнения с экспериментом и верификации существующей скоростной модели земной коры Прибайкалья и северной Монголии.

Ключевые слова: вибросейсмические исследования, сейсмический вибратор, волновые поля, профиль Бабушкин – Улан-Батор.

VIBROSEISMIC RESEARCH ON 500 KM PROFILE BABUSHKIN, BAYKAL – ULAN BATOR, MONGOLIA

Valery V. Kovalevsky

Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics, Siberian Branch of RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, 6 Lavrentiev Ave, Doctor of Science, Deputy Director, tel. (383)330-70-69, e-mail: kovalevsky@sscc.ru

Tsyren A. Tubanov

Geological Institute, Siberian Branch of the Academy of Sciences, 670047, Russia, Ulan-Ude, 6a Sakhyanovoy St., Ph. D., Head of laboratory, tel. (3012)43-49-21, e-mail: siren65@mail.ru

Aleksey G. Fatyanov

Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics, Siberian Branch of RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, 6 Lavrentiev Ave, Doctor of Science, Head of laboratory, tel. (383)330-60-46, e-mail: fat@nmsf.sccc.ru

Ludmila P. Braginskaya

Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics, Siberian Branch of RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, 6 Lavrentiev Ave, leading programmer tel. (383)330-70-69, e-mail: ludmila@opg.sccc.ru

Andrey P. Grigoryuk

Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics, Siberian Branch of RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, 6 Lavrentiev Ave, scientist, tel. (383)330-70-69, e-mail: and@opg.sccc.ru

Artem D. Bazarov

Geological Institute, Siberian Branch of the Academy of Sciences, 670047, Russia, Ulan-Ude, 6a Sakhyanovoy St., scientist, tel. (3012)43-49-21, e-mail: gin@gin.bsccnet.ru

The paper presents the results of the studies wave field characteristics of the seismic vibrator in South-Baikal test site on the 500-km regional profile: Babushkin – Sukhbaatar – Darkhan – Ulaanbaatar in a southern direction from the source. Mathematical modeling of the wave field on the profile for comparison with experiment and verification of existing velocity model of the crust of the Baikal region and northern Mongolia are done.

Key words: vibroseismic studies, seismic vibrator, wave fields, profile Babushkin – Ulaanbaat.

В последнее десятилетие в рамках проектов СО РАН и РФФИ выполнено исследование характеристик вибросейсмического поля мощного 100-тонного вибрационного сейсмического источника, расположенного на Южнобайкальском геодинамическом полигоне СО РАН, для целей глубинного вибросейсмического зондирования Монголо-Сибирского региона в зоне сочленения Байкальского рифта и Центрально-Азиатского подвижного пояса [1-3]. Методической основой работ является регистрация вибросейсмических сигналов на региональных профилях протяженностью до 500 км малыми сейсмическими группами (антеннами) с трехкомпонентными сейсмоприемниками и использование специализированного программного обеспечения для выделения вибрационных зондирующих сигналов и пространственной селекции приходящих волн на больших расстояниях [4-6]. Работы по исследованию характеристик вибросейсмического поля мощного вибратора на профиле Байкал–Улан-Батор проводились ИВМиМГ СО РАН, ГИН СО РАН, БурФ ГС СО РАН (Россия) и ИЦАГ АНМ (Монголия).

В 2011–2013 гг. проведены экспериментальные работы по исследованию характеристик волнового поля сеймовибратора в режиме излучения свип-сигналов и гармонических сигналов с регистрацией излучаемых волн на двух

региональных профилях: Бабушкин–Сухэ-Батор–Дархан–Улан-Батор от 205 км до 500 км в южном направлении от источника и Бабушкин–Сухэ-Батор–Орхон-Тола от 205 км до 356 км в юго-юго-западном направлении от источника на монгольской территории. Также проведена регистрация вибросигналов на профиле на российской территории на расстоянии 65 км, 120 км и 162 км от источника (рис. 1).

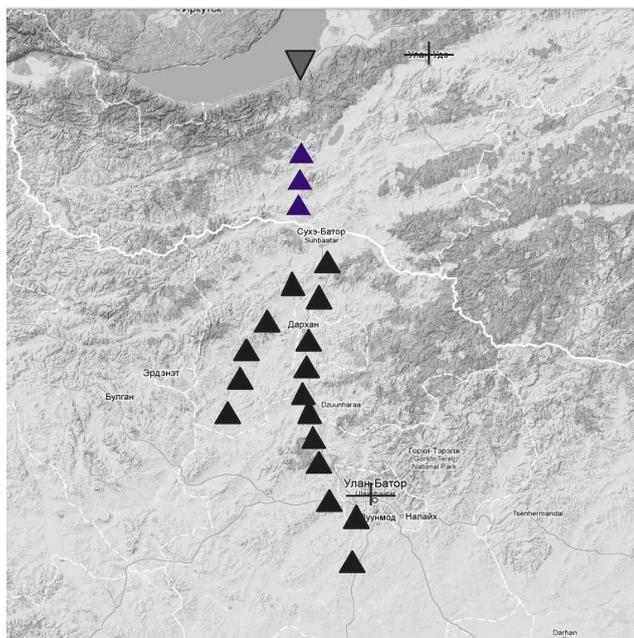


Рис. 1. Общая схема экспериментальных работ на профиле Бабушкин – Улан-Батор. Точки регистрации – синие треугольники, вибратор ЦВО-100 – красный треугольник

Регистрация вибросейсмических сигналов в каждой точке профиля осуществлялась малой сейсмической группой из 6 регистраторов Байкал с трехкомпонентными сейсмическими датчиками СК1-П, координатная привязка по GPS. Расстановка датчиков линейная с расстоянием между датчиками 200 м и общей базой малой сейсмической группы 1 км. Непрерывная регистрация сейсмических сигналов проводилась в ночное время в течение семи часов (с 15:00 по 22:00 по GMT) в каждой точке регистрации. Одновременно проводилась регистрация вибросейсмических сигналов вблизи источника аппаратурой Байкал с трехкомпонентным сейсмическим датчиком СК1-П.

Для выделения вибрационных зондирующих сигналов и пространственной селекции приходящих волн было использовано специализированное программное обеспечение на базе программы обработки вибросигналов V12, созданной в ИВМиМГ СО РАН. В алгоритмах обработки используется пространственная фильтрация, основанная на определении степени синфазности волн с определенным волновым числом на различных датчиках группы во временном окне, перемещающимся вдоль сейсмограммы. Применение пространственной фильтрации для обработки данных сейсмической группы оказалось очень эффективным для выделения основных групп волн (сейсмических фаз) и подавления

волн-помех. В программе V12 применены графические средства отображения текущих амплитуд сейсмограмм после преобразования Гильберта. Это позволяет получать из сейсмограмм наглядные волновые карты участков Р и S волн (рис. 2). Применение малых групп при регистрации вибросигналов и разработанных программ обработки позволило выделить вибрационные зондирующие сигналы на удалении до 500 км от источника и выполнить пространственную селекцию приходящих волн на полученных вибрационных сейсмограммах.

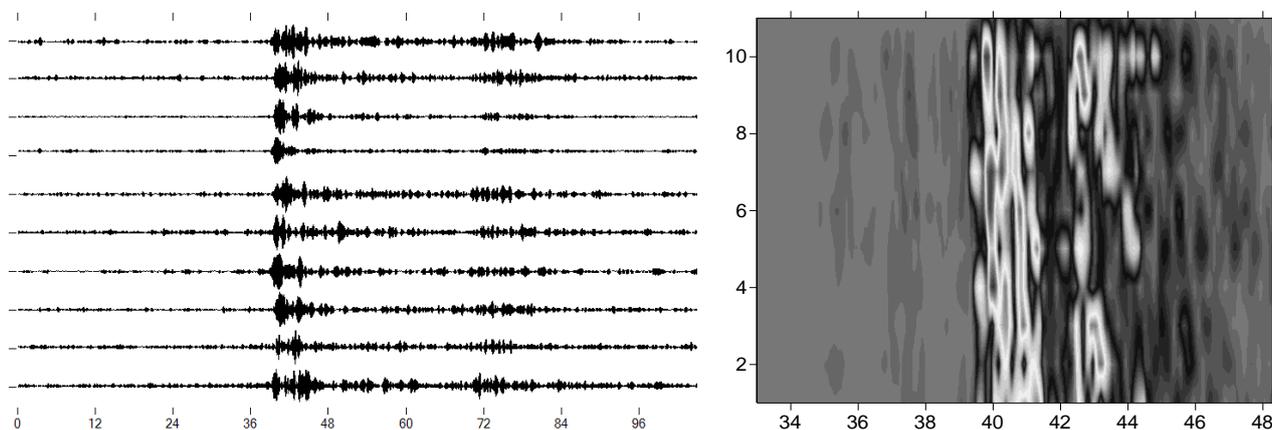


Рис. 2. Вибрационная сейсмограмма на расстоянии от источника 241 км – слева. Графическое отображение амплитуд Р волн – справа

Редуцированный годограф для группы Р волн представлен на рис. 3. Скорость редукиции 8 км/с. Точками отмечены времена первых четырех максимумов колебаний в группе Р волн.

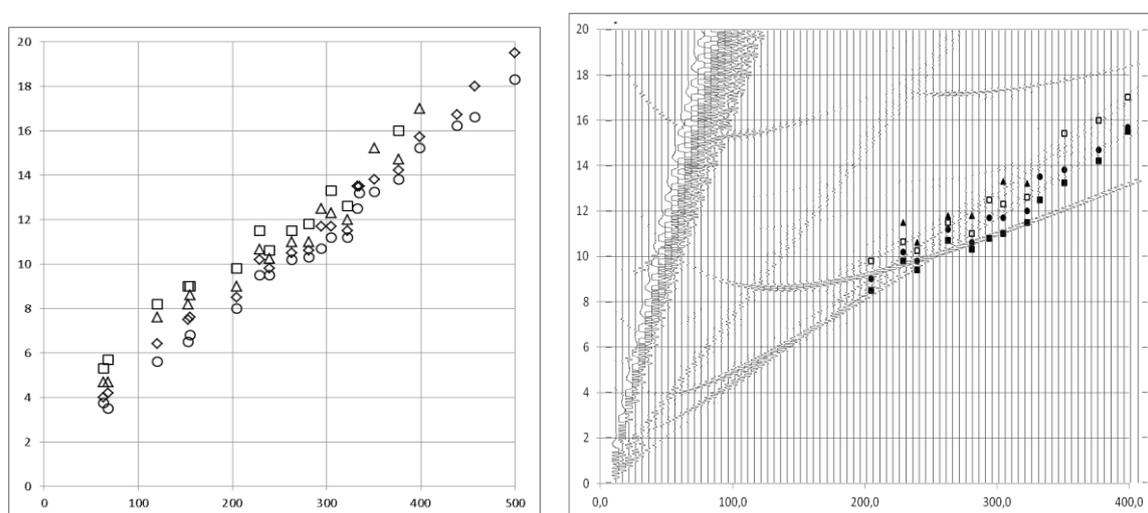


Рис. 3. Времена вступлений волн по первым 4 максимумам вибрационных сейсмограмм – слева. Теоретические годографы для 5-слойной модели земной коры и экспериментальные данные – справа. Скорость редукиции 8 км/с

Вместе с экспериментальными работами были выполнены теоретические исследования формирования волнового поля для модели земной коры примени-

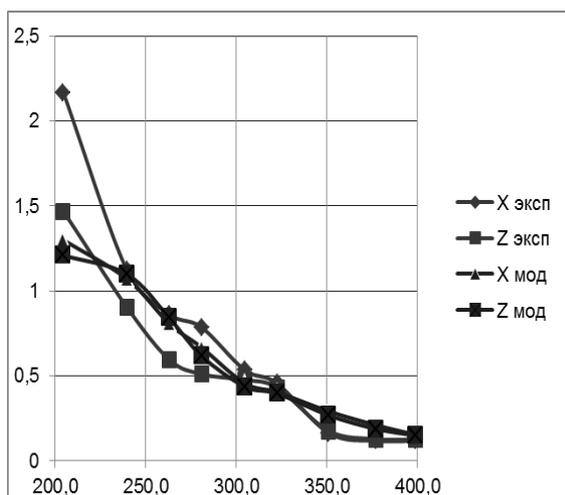


Рис. 4. График затухания амплитуд волн, эксперимент и результат моделирования

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ: № 15-07-06821-а, № 14-07-00832, ИП СО РАН 54.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Активная сейсмология с мощными вибрационными источниками / А.С.Алексеев [и др.]; отв. ред. Г.М. Цибульчик. – Новосибирск : ИВМиМГ СО РАН, филиал «Гео» изд-ва СО РАН, 2004. – 387 с.
2. Еманов А.Ф., Селезнев В.С., Соловьев В.М., Кашун В.Н., Татьков Г.И. Эксперименты по вибросейсмическому мониторингу земной коры // Проблемы региональной геофизики. – Новосибирск, 2001. – С. 55–57.
3. Крылов С.В., Селезнев В.С., Соловьев В.М., Петрик Г.В., Шелудько И.Ф. Изучение Байкальской рифтовой впадины методом сейсмической томографии на преломленных волнах // Докл. АН. – 1995. – Т. 345, № 5. – С. 674-677.
4. Ковалевский В.В., Брагинская Л.П., Григорюк А.П. Информационно-аналитическая система для вибросейсмических исследований. // Проблемы информатики. – 2013. – № 3. – С. 22–29. ISSN 2073-0667.
5. Б.Г. Михайленко, Б.М. Глинский, Х.Х. Имомназаров, В.В. Ковалевский, Л.Е. Собисевич, А.Л. Собисевич, М.С. Хайретдинов. Методы активной сейсмологии в задачах мониторинга глубинного строения Земли. В кн.: Экстремальные природные явления и катастрофы. Т. 1: Оценка и пути снижения негативных последствий экстремальных природных явлений, ИФЗ РАН – М.: ИФЗ РАН, 2010. С. 89 -130.
6. A. Alekseev, G. Tsibulchik, V. Kovalevsky, and A. Belonosov. Elements of active geophysical monitoring theory. Handbook of Geophysical Exploration: Seismic Exploration, Volume 40, Active geophysical monitoring, Elsevier, 2010, pp. 55-71.
7. Фатьянов А.Г. Аналитическое моделирование сейсмических волновых полей и волновой метод подавления кратных волн Технологии сейсморазведки. 2010. № 2. С. 16-22.
8. Бурмин В.Ю., Фатьянов А.Г. Аналитическое моделирование волновых полей на сверхдальние расстояния и экспериментальные исследования водных волн Физика Земли. 2009. № 4. С. 43-55.

© В. В. Ковалевский, Ц. А. Тубанов, А. Г. Фатьянов, Л. П. Брагинская, А. П. Григорюк, А. Д. Базаров, 2015