

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МАНТИИ ЗЕМЛИ И ИДЕНТИФИКАЦИЯ ГРАНИЦЫ ЛЕМАНН МЕТОДАМИ ВИБРОСЕЙСМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Сергей Александрович Ефимов

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 6, научный сотрудник, тел. (913)906-59-29, e-mail: sergesaesa@yandex.ru

В статье представлены результаты экспериментальных исследований волновых полей от вибросейсмических источников с целью определения структуры Земли. Показана возможность вибросейсмической технологии для исследования мантии Земли и идентификации границы Леманн. Эффективность вибросейсмической технологии показана на примере обработки экспериментальных сейсмических записей в районе озера Байкал.

Ключевые слова: вибросейсмическая технология, сейсмическая запись, структура Земли, граница Леманн.

EXPERIMENTAL STUDY OF THE EARTH'S MANTLE AND THE IDENTIFICATION OF THE BOUNDARIES LEHMANN METHODS OF VIBRO-SEISMIC TECHNOLOGY

Sergey A. Efimov

Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS, 630000, Russia, Novosibirsk, 6 Akademik Lavrentiev Prospect, research, tel. (913)906-59-29, e-mail: sergesaesa@yandex.ru

The article presents the results of experimental studies of wave fields from vibration sources with the goal of determining the structure of the Earth. Shows the possibility of vibro-seismic technology to study the Earth's mantle and border identification Lehmann. The effectiveness of vibro-seismic technology shown in the example of processing of experimental seismic records in the area of lake Baikal.

Key words: vibro-seismic technology, seismic recording, the structure of the Earth, the border Lehmann.

Введение. Изучение структуры Земли является одной из актуальных задач геофизики [1]. Одним из подходов исследования Земли является совокупность методов сейсмологии, направленные на изучении сейсмических волновых полей. Сейсмические методы позволили получить пространственное изображение недр планеты. Основными элементами структуры Земли являются кора, мантия и ядро. Ядро, в свою очередь, разделяется на две части: твердое внутреннее ядро и жидкое внешнее ядро.

На глубине примерно 220 км, в верхнем слое мантии, более 40 лет назад датский геофизик Инге Леманн обнаружила сейсмическую границу, на которой понижается скорость прохождения сейсмических волн, может быть из-за фазового перехода, изменения пластичности астеносферы или отклонения колебаний волны сдвига. Граница Леманн названа по имени датчанки – геофизика (сейсмолога) Инге Леманн.

Она проявляется под континентами, под океанами — не всегда, и не часто употребляется в специальной литературе. Были предложены некоторые допущения: нижняя граница находится на пластичной астеносфере, где происходит расщепление квазипоперечных волн в SKS фазе при поперечно волновой анизотропии. Прежде термин «граница Леманн» обозначал границу между внутренним и внешним ядром, так как Инге Леманн (Inge Lehmann) открыла внутреннее ядро, но это обозначение не вполне верно. Природа границы Леманн важна для понимания строения верхней мантии и мантийных потоков. В то время как наличие границы Леманн на глубине 220 км в мантии Земли было известно сейсмологам еще 40 лет назад, до сих пор обсуждается ее повсеместность. Некоторые ученые установили, что она существует только под материками, в то время как другие ученые нашли ее как в континентальных, так и в океанических областях. Задача исследования этой границы является нетривиальной и решается различными подходами.

На рис. 1 представлены количественные характеристики структуры Земли.



Рис. 1. Количественные характеристики структуры Земли.

Источник: <http://svetnsk.ru/post.php?id=13521>

В данной работе на основе экспериментальных данных вибросейсмического эксперимента проведен анализ структурных особенностей границы Леманн.

Экспериментальные данные. В период 9–12 сентября 2009 г. сотрудниками ИВМиМГ СО РАН (г. Новосибирск) проведены вибросейсмические эксперименты в районе озера Байкал п. Бабушкин Красноярского края. Общая схема эксперимента, план проведения эксперимента и результаты регистрации сейсмических сигналов представлены на информационно-вычислительной системе «Вибросейсмическое Просвечивание Земли» – сайт <http://opg.sccc.ru/db>. Условное название данного эксперимента в базе данных – «091 Байкал». В данной работе проведено исследование экспериментальных данных по активному вибросейсмическому просвечиванию разломных зон хребта Хамар-Дабан (юго-восток Байкала).

Спектрально-временной анализ данных, полученных в непосредственной близости от виброисточника, выявил особенности формирования вибросейсмического поля на земной поверхности при использовании свип (частотно-модулированных) сигналов. Особенность заключается в том, что спектрально-временная характеристика сигнала сейсмического датчика (регистратора), расположенного в зоне эксперимента, указывает на наличие не только основного сигнала, формируемого виброисточником, но так же показывает наличие сопутствующих основному сигналу частот (боковые частоты). Следующий рисунок поясняет вышесказанное. Данные приведены для регистратора № 1, датчик № 3, сеанс № 15. Расстояние между виброисточником ЦВ-100 и регистратором равно 0,01 км.

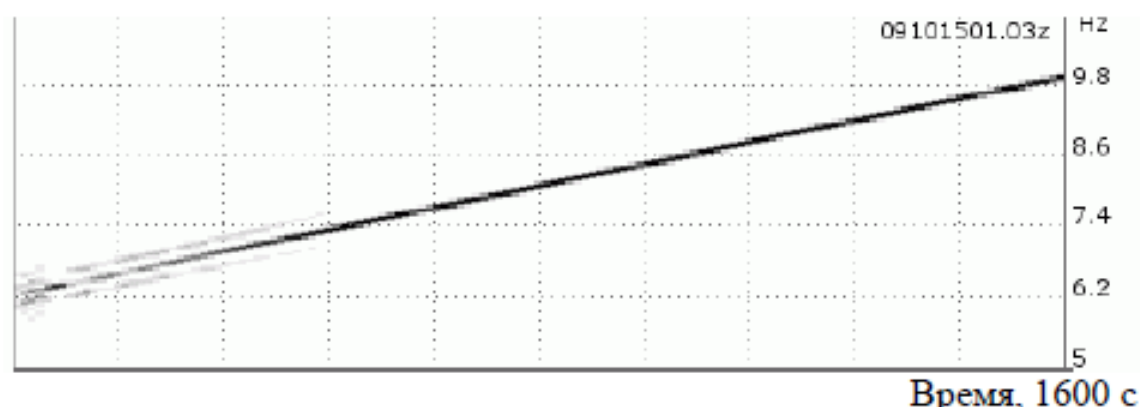


Рис. 2. Спектрально-временная характеристика сигнала датчика № 3, регистратора № 1

Боковые частоты, присутствующие в течение 480 сек от начала сеанса на спектрально-временной характеристике, отстоят от основной частоты примерно на расстоянии 0,22 Гц. Исследована рабочая гипотеза о причине появления боковых частот: сигнал сейсмического датчика (Z компонента) формируется в виде суммы сигналов, общая совокупность которых отражает структурные особенности земной поверхности в вертикальном направлении под датчиком. Другими словами, сейсмический датчик фиксирует, как структура земной поверхности модулирует сигнал с несущей частотой от виброисточника. Модуляции структурных особенностей земли проявляется в виде биений сигнала в точке регистрации. Частоты биений, которые проявлены на вышеприведенном рисунке, отстоят от несущей частоты примерно на 0,22 Гц.

Для сеанса № 15 эксперимента «Байкал 091» скорость развертки составляет 0,00232 Гц/с. Следовательно, время пробега волны от точки установки сейсмодатчика до отражающей границы поверхности земли под датчиком, проявленной на спектрально-временной характеристике сигнала датчика № 3, равно $0,22 / 0,00232 = 94,8$ с.

Ранее сформированная рабочая гипотеза и существование этого отражающего слоя подтверждаются корреляционной сейсмограммой для трех датчиков этого сеанса, представленной на рис. 3.

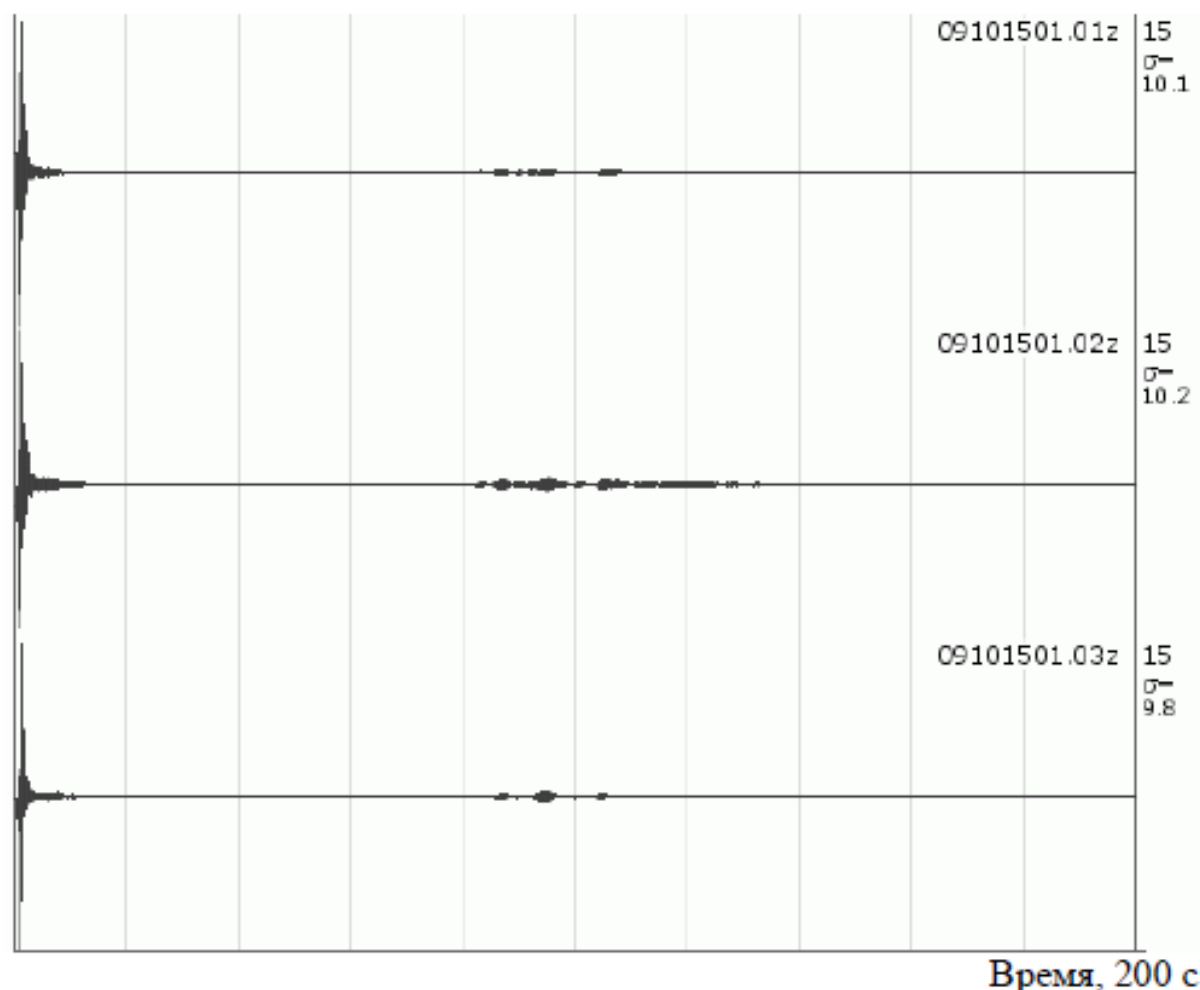


Рис. 3. Корреляционная сейсмограмма для сигнала датчиков № 1, № 2, № 3, регистратор № 1; масштаб оси времени – одна клетка 20 с

Данный рисунок показывает наличие отражающих границ в структуре мантии Земли в районе 85–105 с. Данный диапазон времени пробега указывает на отражающий слой ниже земной коры: район силикатной оболочки земли – мантии.

Для анализа корреляционной сейсмограммы в диапазоне 85–105 с выделим эту область и изменим амплитудный масштаб рис. 3. Детализация корреляционной сейсмограммы на рис. 4 позволила выделить характерные для отражающей границы импульсные сигналы, соответствующие временам 87, 95 и 105 с. Скорость р-волн в верхней части мантии составляет величину примерно 5,5 км/с [1]. Учитывая, что выделенные времена прихода соответствуют времени пробега пути от виброисточника до отражающей границы и обратно до сейсмодатчика, проведем расчет глубины границ от поверхности земли. Глубина границ от поверхности земли для времени 87, 95 и 105 с при скорости р-волн в верхней части мантии 5,5 км/с составит соответственно 239, 261 и 289 км.

На рис. 4 представлена корреляционная сейсмограмма для трех датчиков этого сеанса с выделением временной области и увеличенным масштабом амплитуд.

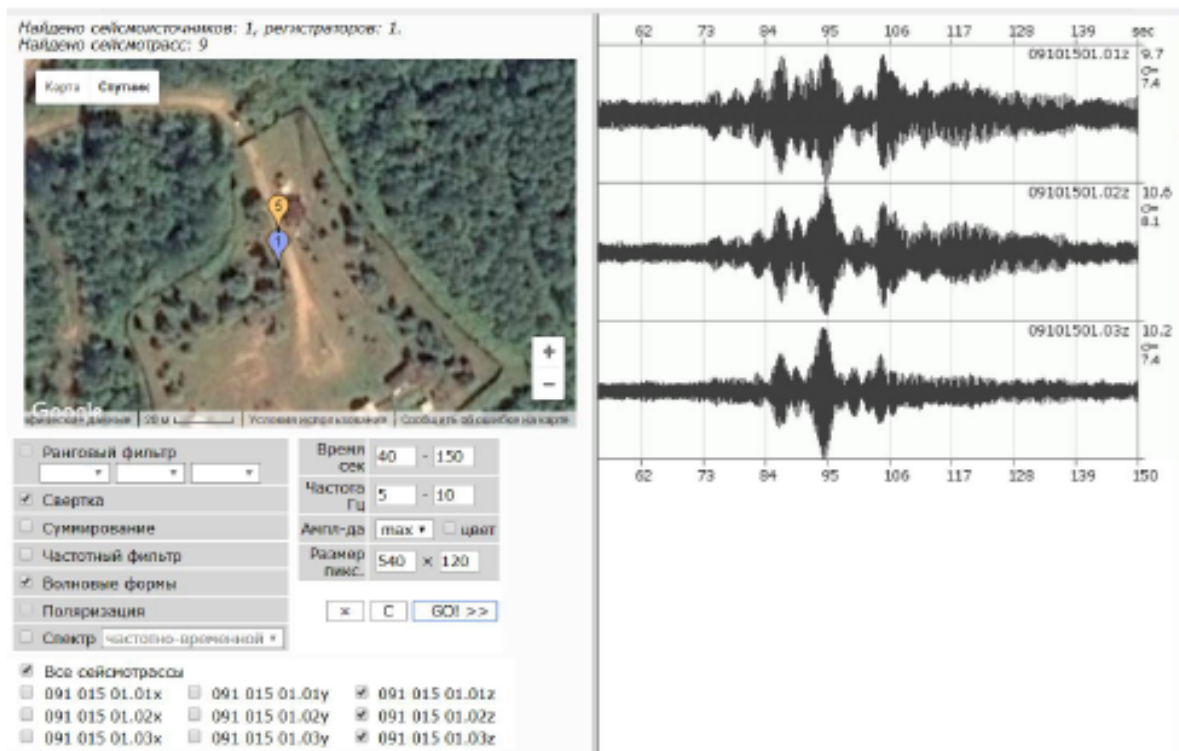


Рис. 4. Корреляционная сейсмограмма для сигнала датчиков № 1, № 2, № 3, регистратор № 1

С определенной долей уверенности можно предположить, что данный вибросейсмический эксперимент идентифицирует полученные границы отражения как многослойную границу Леманн.

Выводы. Представленный анализ вибросейсмического волнового поля основан на спектрально-временном и корреляционном методе обработки. Эти методы в рамках вибросейсмической технологии являются достаточными для исследования особенностей строения не только коры Земли, но и более глубоких структур, в частности мантии Земли. Данный способ анализа является технологическим инструментом, который на основе записи информации в точке регистрации позволяет уточнить структурные границы Земли. На основе экспериментальных данных показано существование границы Леманн в районе озера Байкал. Установлены структурные особенности границы Леманн: она имеет три отражающие границы: $T_1 = 87$ с, $T_2 = 95$ с, $T_3 = 105$ с. Глубина границ от поверхности земли для времени 87, 95 и 105 с составит соответственно 239, 261 и 289 км.

Заключение. Автор выражает благодарность сотрудникам ИВМиМГ СО РАН, замечания и критика которых на семинарах и в личных беседах формировали постановку задачи, решаемой в данной работе.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Жарков В. Н. Внутреннее строение Земли и планет. – М. : Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит.-ры, 1978. – 192 с.