

Вибросейсмические исследования литосферы Байкальской рифтовой зоны и сопредельных территорий

Г.И.ТАТЬКОВ, Ц.А.ТУБАНОВ, А.Д.БАЗАРОВ, В.В.ТОЛОЧКО (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Геологический институт Сибирского отделения Российской академии наук (ГИН СО РАН); 670047, г.Улан-Удэ, ул.Сахьяновой, д.6а), В.В.КОВАЛЕВСКИЙ, Л.П.БРАГИНСКАЯ, А.П.ГРИГОРЮК (Институт вычислительной математики и математической геофизики (ИВМиМГ) СО РАН); 670090, г.Новосибирск, просп.акад.Лаврентьева, д.6)

Приведены результаты вибросейсмических исследований литосферы Байкальской рифтовой зоны, выполненные институтами СО РАН с применением мощного вибросейсмического источника Южнобайкальского полигона. Выявлены аномалии времен пробега (скоростей) продольных волн, имеющие выраженную геодинамическую природу и характеризующие процессы дилатансии при деформировании реальной геологической среды. Исследованы сезонные вариации характеристик сигналов, излучаемых вибратором. Исследованы характеристики волнового поля вибратора на 500-км профиле Байкал—Улан-Батор.

Ключевые слова: сейсмический вибратор, вибросейсмические исследования, сезонные вариации, волновое поле.

Татьков Геннадий Иванович
 Тубанов Цырен Алексеевич, siren65@mail.ru
 Базаров Артем Дамбиевич, art_baz@mail.ru
 Толочко Виталий Васильевич, seismo@gmail.com
 Ковалевский Валерий Викторович, kovalevsky@sscc.ru
 Брагинская Людмила Петровна, ludmila@opg.sccc.ru
 Григорюк Андрей Петрович, and@opg.sccc.ru

Vibroseis study of the lithosphere of the Baikal rift zone and adjacent areas

G.I.TAT'KOV, TS.A.TUBANOV, A.D.BAZAROV, V.V.TOLOCHKO, V.V.KOVALEVSKY, L.P.BRAGINSKAYA, A.P.GRIGORYUK

The results of the vibroseis studies lithosphere of the Baikal Rift Zone, performed institutes of the Russian Academy of Sciences with the use of powerful vibroseis source South-Baikal test site are presented. an anomalous travel time (velocity) of the longitudinal waves have expressed and characterize the nature of geodynamic processes dilatancy during deformation of the real geological environment are revealed. The seasonal variations in the characteristics of the signals emitted by the vibrator are investigated. The characteristics of the wave field vibrator 500-km profile Baikal Ulan Bator are.

Key words: seismic vibrator, vibroseis studies, seasonal variations, wave field.

Исследование геодинамических процессов в областях подготовки катастрофических природных событий — одна из фундаментальных проблем современной геологии. В Сибири и на Дальнем Востоке имеются регионы с высокой сейсмичностью и потенциальной опасностью катастрофических землетрясений и извержений вулканов. Традиционный подход к изучению геодинамических процессов в этих регионах, базирующийся на применении отдельных методов, таких как исследование сейсмичности, гравиметрические измерения и другие, несмотря на важность получаемых результатов, имеет существенные ограничения.

Последние три десятилетия характеризуются быстрым развитием нового направления в геофизике, основанного на применении для глубинных исследований Земли мощных управляемых вибрационных

источников сейсмических волн и названного в российской литературе активной сейсмологией [1—7].

Режимные наблюдения. Сейсмические волны, проходящие через очаговую область и ее окрестности, несут информацию о происходящих изменениях параметров деформируемой среды и ее напряженно-состояния. Построение рядов наблюдений, таких как времена вступления волн и их отношения, разность времен вступления волн, динамических характеристик волн (амплитуды, параметры поляризации, углы выхода) и др., определяемых напряженно-деформированным состоянием среды, позволяет осуществлять постоянный контроль за реологическими свойствами среды.

В Сибирском отделении РАН совместными усилиями институтов: нефтегазовой геологии и геофизики им.А.А.Трофимука (ИНГГ) СО РАН, вычислитель-

ной математики и математической геофизики (ИВМиМГ) СО РАН, геофизической службы (ГС) СО РАН, геологического института (ГИН) СО РАН проводятся исследования по развитию методов активной сейсмологии, в частности, созданию метода вибросейсмического мониторинга сейсмоопасных зон. В отличие от взрывных источников, имеющих дополнительные ограничения по экологическим воздействиям, мощные низкочастотные вибрационные источники типа ЦВ-100 характеризуются высокой стабильностью параметров излучаемых ими сейсмических волн, которая обеспечивается компьютерными системами управления. Возможности вибрационных сейсмических источников позволяют реализовать методы мониторинга свип-сигналом в диапазоне 6,5—10 Гц и монохроматического излучения для обнаружения малых изменений характеристик среды.

Для экспериментальных исследований вариаций параметров деформируемой среды на Южнобайкальском полигоне после произошедших сильных местных землетрясений 1999 г. выполнена реконсервация и модернизация мощного вибросейсмического источника ЦВ-100, расположенного в окрестностях г. Бабушкин (станция Сухой ручей). На виброисточнике установлены компьютерные системы управления, высокостабильные кварцевые задающие генераторы и спутниковая система точного времени. Монтаж новой системы управления улучшил синхронизацию систем излучения и регистрации и повысил стабильность излучения.

С учетом неотектонического строения и местоположения стационарного низкочастотного вибратора создана локальная сеть наблюдений из 8-ми стационаров, удаленных на 58—256 км от источника и оснащенных стандартными сейсмическими регистраторами «Байкал» и «SeisComp» (рис. 1, I). Помимо станций локальной сети для мониторинга используются и региональные сейсмологические станции Прибайкалья. Общая площадь, охваченная вибросейсмическим мониторингом, превышает 20 000 км², что позволяет реализовать технологию многовекторного мониторинга, контролирующего не только разные направления, но и разные объемы сейсмогенерирующей среды. Наибольший интерес представляют трассы, пересекающие основные зоны геодинамической активности Южнобайкальского прогностического полигона: Вибратор—Листвянка (Южнобайкальская сейсмогенерирующая зона); Вибратор—Хурамша (Оронгойская); Вибратор—Заречье (Селенгинская). Наблюдения на станциях Тырган, Фофоново, Турунтаево важны для мониторинга неоднократно активизировавшихся в процессе рифтогенеза Обручевского и Приморского сбросов, Боргой-Бугульдейского разлома сдвигового типа.

Для анализа из календарной сборки коррелограмм были выбраны несколько волновых пакетов, включающих рефрагированные и преломленно-рефрагированные Р-волны. В полученных наборах были обработаны только времена вступления пакетов Р-волн по Z компоненте. В обработке S-волны и более

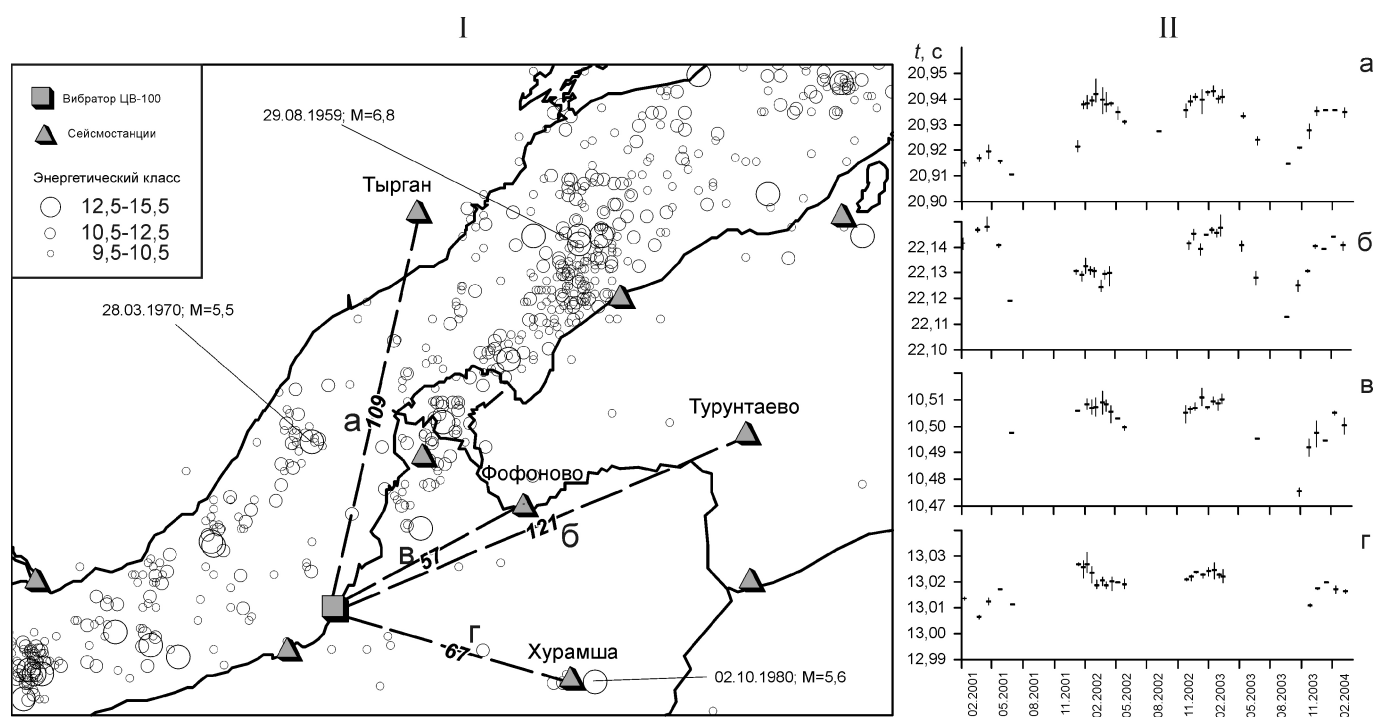


Рис. 1. Схема вибросейсмического мониторинга и землетрясения за 1952—2012 гг. (I) и вариации времен пробега сейсмических волн на трассах от вибратора на сейсмостанции (II):

а — Тырган, б — Турунтаево, в — Фофоново, г — Хурамша

поздние когерентные фазы пока не использовались. Это предполагается выполнить на следующем этапе работ. По результатам обработки вибросейсмических зондирований для отдельных пакетов Р-волн построены графики изменения времен вступления по направлениям: 1) Вибратор—Тырган; 2) Вибратор—Хурамша; 3) Вибратор—Фофоново; 4) Вибратор—Турунтаево.

Трасса Вибратор—Тырган протяженностью 109 км пересекает под острым углом (15°) Боргой-Бугульдейский тектонический разлом. Для направления Вибратор—Тырган выделяются три группы (волновые пакеты) продольных Р-волн: P_1 , P_2 , P_3 с временами вступлений 20,9; 21,3 и 22,6 с, обладающих наибольшей стабильностью. Для построения графиков изменения времен пробега использовался волновой пакет P_1 .

На графике (см. рис. 1, II) видно, что для каждого года наблюдается параболическое изменение времен пробега, амплитудой 0,005—0,007 с. Как и при вибросейсмическом мониторинге в Паркфилде, можно предположить, что эти сезонные изменения связаны с локальными изменениями характеристик в точке излучения (установки виброисточника). Сезонные аномалии в обоих случаях вполне сопоставимы между собой: 0,005 с при мониторинге в Паркфилде и 0,005—0,007 с на оз.Байкал.

Наряду с сезонными вариациями для трассы Вибратор—Тырган отмечается плавное увеличение времен пробега амплитудой до 0,030 с в период с 10.02.2001 г. до 7.08.2002 г. В этот же период в центральной части трассы было зарегистрировано землетрясение класса 11,6. Этому землетрясению предшествовали четыре форшока энергетического класса 7—8. Последующий афтерфоршоковый процесс, продолжавшийся до 14.04.2004 г., сопровождался уменьшением времен вступления до 0,040 с. Таким образом, на трассе Вибратор—Тырган зафиксировано возрастание и уменьшение времен вступления продольных волн, наблюдаемое на протяжении всех трех лет измерений. Максимум аномалии амплитудой до 0,030 с совпадает во времени с сильным землетрясением, произошедшим в центральной части трассы, где сейсмические волны, излучаемые вибратором имеют максимальную глубину проникновения 10—15 км, то есть достигают глубины очага. Помимо возрастающей ветви графика, очевидно, характеризующей рост трещиноватости, удалось зарегистрировать и спадающую ветвь. Спад аномалии наблюдался вплоть до восстановления начальных сейсмических свойств изучаемого объема геологической среды. В отличие от модельных экспериментов, геологам хорошо известны процессы залечивания трещин в горных породах, особенно при изучении структуры рудных месторождений и процессов рудообразования. Проводятся такие исследования и касающиеся оценок скорости залечивания сейсмогенных разрывов

[8]. Полученные авторами экспериментальные данные, фиксирующие присутствие восходящей и спадающей ветвей аномалии сейсмических скоростей, имеют важнейшее значение для изучения как процессов деструкции, так и обратных им процессов залечивания деформируемых геологических сред.

На трассе Вибратор—Фофоново (58 км), пересекающей краевую часть кластера очагов землетрясений в районе Посольского надвига, также наблюдаются параболообразные сезонные вариации времен вступления амплитудой 0,005—0,007 с с локальными максимумами, приходящимися на февраль-март-апрель. Наряду с сезонными вариациями происходит плавное повышение времен пробега Р-волны: с июня 2001 г. по январь 2004 г. времена возросли на 0,32 с. Локальным повышением скорости сейсмических волн отмечают сейсмическое затишье в декабре 2001—июле 2002 гг., и напротив, уменьшения скоростей коррелируются с активизацией кластера в июне и декабре 2003 г. Наблюдаемые изменения скоростей продольных волн могут быть увязаны с уплотнениями среды в зоне Посольского надвига при сейсмическом затишье и разуплотнениями (дилатансией) при ее активизации. На трассах Вибратор—Хурамша (протяженностью 66 км) и Вибратор—Турунтаево (121 км), проходящих по тыловой части Селенгинской зоны отмечено синхронное и устойчивое повышение скоростей, что может свидетельствовать о преобладании обстановок сжатия на периферии расширяющегося Байкальского рифта.

На трассах, расположенных вдоль акватории оз.Байкал (станции Талая, Листвянка), регистрируется интенсивная прямая волна, проходящая через водную среду со средней скоростью 1500 м/с, что затрудняет выделение сейсмических волн P_g - и S_g -волн. На станции Заречье для накопления вибросейсмического сигнала и подавления высокого уровня микросейсмических шумов необходимы дополнительные эксперименты с сейсмическими антеннами или использование более чувствительной аппаратуры.

Сезонные изменения вибросейсмического поля вибратора ЦВО-100 Южнобайкальского геодинамического полигона. На основе анализа многолетних данных вибросейсмического мониторинга Байкальской рифтовой зоны с использованием виброисточника ЦВО-100 были исследованы сезонные вариации характеристик сигналов, излучаемых вибратором и характеристик вибрационных сейсмограмм, регистрируемых сейсмостанциями локальной и региональной сети. Для анализа сезонных вариаций в ИВМиМГ СО РАН и ГИН СО РАН были обработаны записи колебаний грунта в ближней зоне вибратора и записи с сейсмостанций Хурамша и Тырган при излучении свип-сигналов за период с августа 2003 г. по март 2006 г.

Календарная сборка автокорреляционных функций излученных свип-сигналов вибратора в ближней

зоне и их спектров с августа 2003 г. по март 2006 г. приведена на рис. 2. На графиках хорошо видно перемещение максимума спектра сигнала из высокочастотной области в низкочастотную и обратно в течение года. В период ноябрь—май амплитуда сигнала вибратора имеет монотонный вид с максимумом в конце рабочего диапазона на 10 Гц. В июне увеличивается амплитуда в среднем диапазоне с максимумом в районе 7 Гц. В июле—сентябре максимум амплитуды смещается в диапазон 6,5—6,8 Гц, далее в октябре график аналогичен июньскому с максимумом около 7 Гц. Характер графиков стабильно повторяется от года к году. Такое изменение характера излучения вибратора связано с промерзанием грунта в месте его установки. В зимние месяцы вибратор вморожен в грунт своей платформой и анкерами, что обеспечивает излучение высоких частот. В летние месяцы после оттаивания грунта, по видимому, остается остаточная увлажненность области контакта вибратора с грунтом и окружающей площади, что мешает излучению высоких частот, оставляя высокую мощность излучения вблизи резонансной частоты. Эта резонансная частота также несколько смещается от 7,2 до 6, 5 Гц и обратно за летние месяцы.

Аналогичный анализ сезонных изменений характеристик вибрационных сейсмограмм и их спектров был сделан за тот же период для сейсмостанций региональной сети. На рис. 2 приведены так же вибрационные сейсмограммы Z-компоненты и их спектры для сейсмостанций Хурамша за период 08.2003—03.2006 гг. Спектр исходных сейсмограмм имеет неравномерный, изрезанный вид со многими локальными максимумами, однако его общие закономерности те же что и для спектра излученного сигнала вибратора. Это наличие в спектре всех частот включая высокие до 10 Гц в зимние месяцы, смещение его максимума в область резонанса источника 6—7 Гц и пропадание высоких частот в летние месяцы. Изрезанность спектра сейсмограмм связана с интерференцией отдельных спектральных составляющих на расстоянии 65 км от источника. При анализе участков вибрационных сейсмограмм для различных времен вступлений волн видно, что для отдельных волн на вибрационных сейсмограммах изменяются амплитуды цугов колебаний и их характерные частоты. Изменение спектра излученного сигнала вибратора приводит к существенному изменению цуга и смещению его максимума для волн в первых вступлениях на 12—13 с, значительно меньшее влияние наблюдается для поперечных волн с временами вступлений 22—23 с и вновь большее для поверхностных волн на временах 31—32 с.

Выявленные сезонные изменения вибрационных сейсмограмм — существенный фактор, осложняющий выделение вариаций характеристик сейсмических волн, связанных с геодинамическими процессами. Для коррекции вибрационных сейсмограмм, по-

лученных в различные месяцы, и приведения их к единому виду был предложен алгоритм коррекции их спектров. Для каждого месяца года была вычислена весовая функция, зависящая от частоты, на которую умножался спектр сейсмограммы соответствующего месяца. Далее обратным преобразованием Фурье получалась скорректированная сейсмограмма, у которой были скомпенсированы сезонные вариации. Так как при коррекции сейсмограмм в различные годы применялся один и тот же набор весовых функций, то предложенная коррекция сейсмограмм позволила компенсировать сезонные вариации и выделять медленные тренды, связанные с геодинамикой среды (см. рис. 2).

Исследования вибросейсмического поля вибратора ЦВО-100 на профиле Байкал—Улан-Батор. 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, для глубинного вибросейсмического зондирования Монголо-Сибирского региона в зоне сочленения Байкальского рифта и Центрально-Азиатского подвижного пояса. Методическая основа работ — регистрация вибросейсмических сигналов на региональных профилях длиной 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.

В 2011—2012 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. Регистрация сигналов проведена в 15 точках профиля на удалении от 205 км до 500 км от источника. Для каждой точки регистрации проводилось излучение двух свип-сигналов длительностью 2820 с в частотном диапазоне 6,25—10,05 Гц и по два 20-минутных сеанса излучения гармонических сигналов на частотах 7, 8 и 9 Гц. Регистрация сейсмических сигналов на профиле осуществлялась мобильными малыми сейсмическими группами на базе автономных цифровых регистраторов «Байкал» с 24-разрядными АЦП и трехкомпонентными сейсмоприемниками СК-1П с частотным диапазоном 1—100 Гц, чувствительностью 150 В/м/с и специализированным программным обеспечением. Применялась профильная расстановка сейсмоприемников в группе с направле-

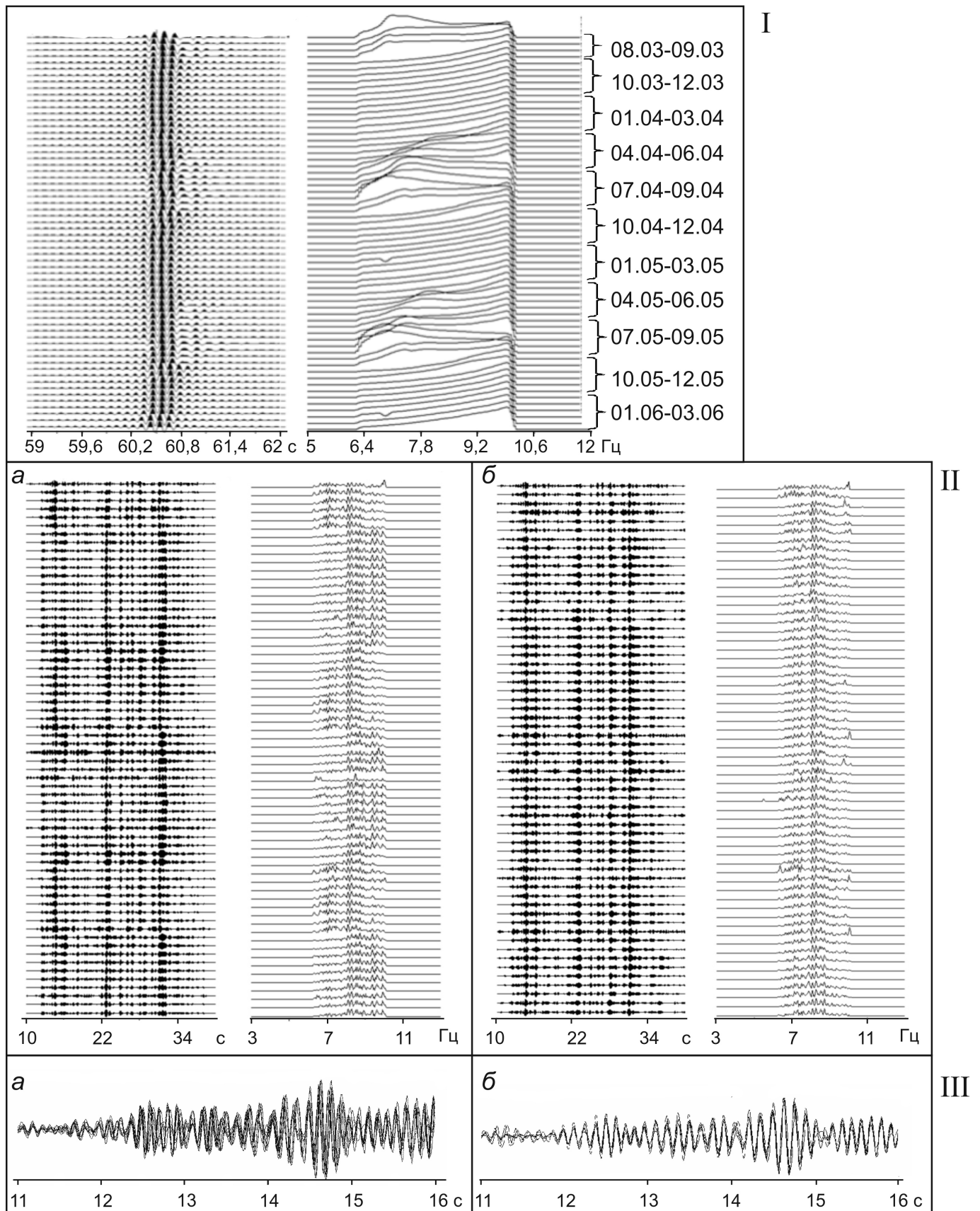


Рис. 2. Автокорреляционные функции свип-сигнала вибратора в ближней зоне и их спектры (календарная сборка с 08.2003 по 03.2006 гг., I); вибрационные сейсмограммы Z-компоненты и их спектры для сейсмостанций Хурамша (календарная сборка с 08.2003 по 03.2006 гг., II), сейсмограммы и их спектры: *а* — исходные, *б* — после коррекции; участок сейсмограмм 11,5—15 с сейсмостанции Хурамша (III): *а* — исходные, *б* — после коррекции сезонных изменений.

нием на вибратор с количеством сейсмоприемников 5—6 с базой регистрации 1 км для точек на расстоянии 200, 300 и, 350 км от источника, 10 сейсмоприемников с базой регистрации 1,8 км для точек на расстоянии 400 и 450 км от источника и площадная расстановка 10 сейсмоприемников на площади 2 2 км в точке на расстоянии 500 км от источника.

Для выделения вибрационных зондирующих сигналов и пространственной селекции приходящих волн разработано 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 P- и S-волн (рис. 3). Применение малых групп при регистрации вибросигналов и разработанных программ обработки позволило выделить вибрационные зондирующие сигналы на удалении 205—500 км от источника и выполнить пространственную селекцию приходящих волн на полученных вибрационных сейсмограммах.

На сейсмограммах на расстоянии 205 км от источника (см. рис. 3) в группе P-волн выделены волны с временами вступлений 33,8; 34,2; 34,8 и 35,5 с, которые можно соотнести с фазами Pn, Pg, Pb, PmP в соответствии New Manual of Seismological Observatory Practice (NMSOP IASPEI). Прослеживаются также волны с временами вступлений на 37,6 и 38,3 с. Амплитуда рефрагированной волны Pn приблизительно в 3—4 раза меньше амплитуд следующих за ней P волн. В группе S-волн выделяются волны с временами вступлений 60,0; 60,7; 62,9 и 63,8 с, которые можно соотнести с фазами Sn, Sg, Sb, SmS. Отношение времен вступлений (TS/TP) находится в интервале значений 1,77—1,81.

На сейсмограммах на расстоянии 241 км от источника в группе P-волн выделены волны с временами вступлений 39,5; 40,3; 40,8 и 43,5 с. Вибрационные сейсмограммы и графики амплитуд группы P-волн после пространственной фильтрации представлены на рис. 3. На сейсмограммах на расстоянии 295 км от источника времена вступлений P волн в группе 47,5; 48,4 и 49,3 с. Группа S-волн представлена на сейсмограммах длинным цугом колебаний в диапазоне времен 85—95 с. Она проявляется в большей степени на компонентах Y, Z. На сейсмограммах на расстоя-

нии 400 км от источника в группе P-волн выделены волны с временами вступлений 64,2; 68,4 и 70,1 с. Рефрагированная волна Pn отчетливо не прослеживается, можно предположить ее вступление на 59,5 с по отдельным сейсмотрассам с амплитудой приблизительно в 5—8 раз меньше амплитуд следующих за ней P-волн. В отличие от точки 205 км, группа S-волн в точке 400 км имеет меньшую амплитуду, чем P-волны. В группе S-волн выделяются волны с временами вступлений 101,5; 109; 118,5 и 124 с. TS/TP расположено в интервале значений 1,70—1,76. На рис. 3 представлены графики амплитуд P-волн по Z-компоненте для расстояний 305, 332 и 400 км от источника.

Редуцированный годограф для группы P-волн так же представлен на рис. 3. Скорость редукции 8 км/с. Точками отмечены времена первых четырех максимумов колебаний в группе P-волн.

При анализе вибросейсмических данных профильной регистрации вибросейсмического поля вибратора используются материалы предыдущих работ по глубинному сейсмическому зондированию в данном регионе, сейсмограммы станций региональной сети Прибайкалья (Россия) и Монголии. Для этой цели подготовлена база данных регистрации сейсмических событий из очагов южной части оз. Байкал, Западной и Центральной Монголии (по данным региональной сети Прибайкалья и национальной сети сейсмических станций Монголии) для исследования поляризации, затухания и рассеяния сейсмических волн на изучаемой территории.

В ходе выполнения проекта дополнительно к экспериментальным работам были выполнены теоретические исследования формирования волнового поля для модели земной коры применительно к профилю Байкал—Улан-Батор. Подготовлена программа и проведено математическое моделирование волнового поля на профиле регистрации для сравнения с экспериментом и верификации существующей скоростной модели земной коры Прибайкалья и северной Монголии.

Работы по исследованию характеристик вибросейсмического поля мощного вибратора на профиле Байкал—Улан-Батор проводились сотрудниками ИВМиМГ СО РАН, ГИН СО РАН, БурФ ГС СО РАН (Россия) и ИЦАГ АНМ (Монголия) в рамках совместного проекта РФФИ. При выполнении проекта геофизиками России и Монголии освоена методика работ с мощными вибраторами для глубинного вибросейсмического зондирования.

В заключение можно отметить, что впервые методом активной сейсмологии с использованием управляемого сейсмического вибратора выявлены аномалии времен пробега (скоростей) продольных волн, имеющие четко выраженную геодинамическую природу и характеризующие процессы дилатансии (разрастания и слияния трещин в очаге) при деформиро-

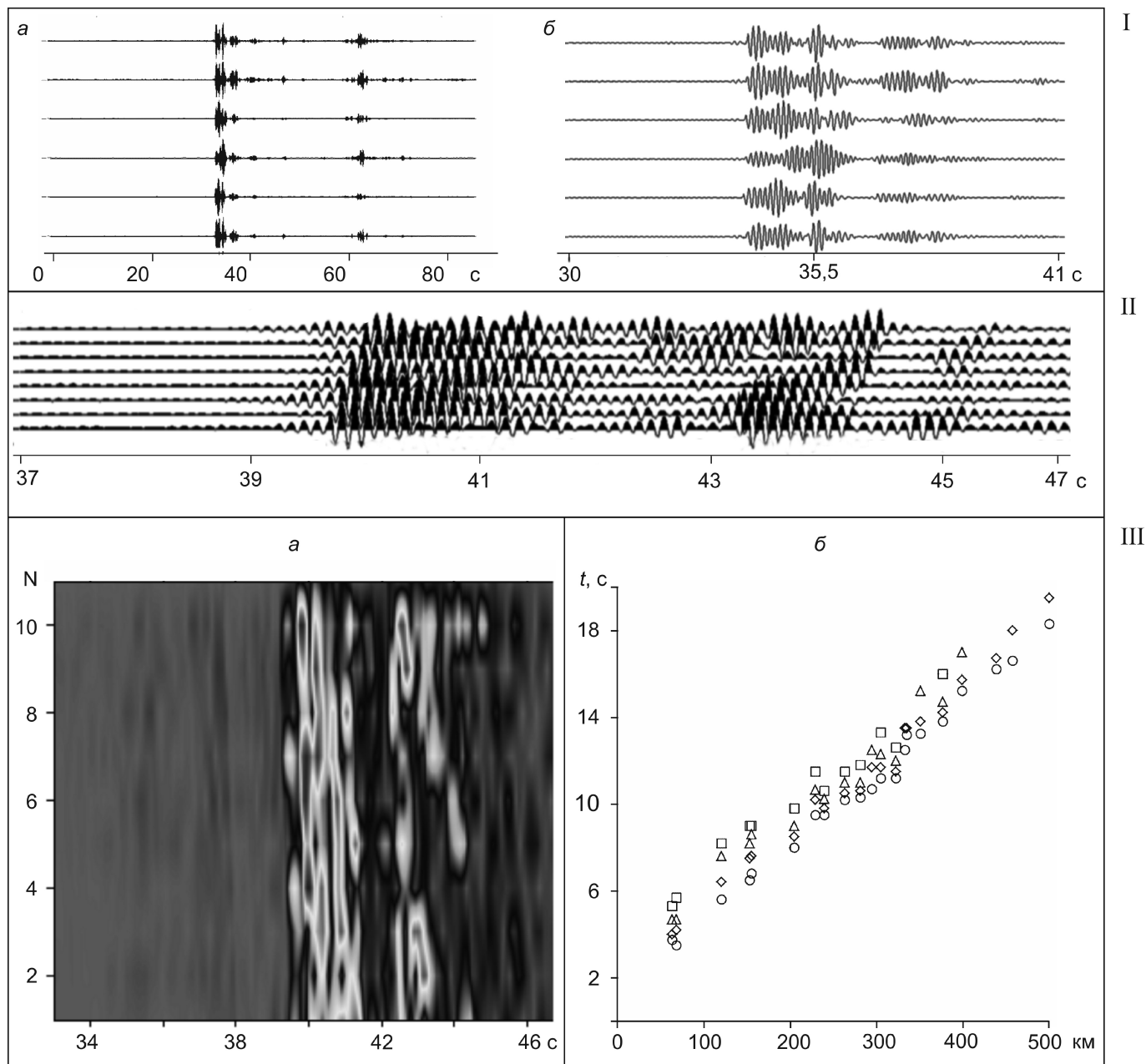


Рис. 3. Результаты пространственной фильтрации для выделения Р-волн:

I — вибрационные сейсмограммы Z-компонента, расстояние от источника 205 км: а — фрагмент 0—80 с, б — фрагмент группы Р-волн; II — вибрационные сейсмограммы Z-компонента, расстояние от источника 241 км; III — график амплитуд Р-волн на сейсмограммах на расстоянии 241 км от источника, применение преобразования Гильберта; редуцированные годографы группы Р-волн на расстоянии 0—500 км; скорость редуции — 8 км/с; круг, ромб, треугольник, квадрат — времена вступления первых четырех Р-волн; N — номер сейсмограммы

вании реальной геологической среды. Сопоставления изменений сейсмических потока и вариаций времен пробега позволили определить тензочувствительные области по отдельным направлениям многовекторного вибросейсмического мониторинга на Байкальском геодинамическом полигоне. Полученные экспериментальные результаты подтверждают возможности контроля и изучения геодинамических процессов по вариациям параметров стационарных

вибросейсмических полей и важны для разработки теоретических основ прогноза землетрясений и развития методов активной сейсмологии.

Исследованы сезонные вариации характеристик сигналов, излучаемых вибратором и характеристик вибрационных сейсмограмм, регистрируемых сейсмостанциями локальной и региональной сети. Для коррекции вибрационных сейсмограмм, полученных в различные месяцы, и приведения их к единому виду предложен

алгоритм коррекции их спектров, позволяющий компенсировать сезонные вариации и выделять медленные тренды, связанные с геодинамикой среды.

Исследованы характеристики волнового поля сейсмовибратора Южнобайкальского полигона в режиме излучения свип-сигналов и гармонических сигналов с регистрацией излучаемых волн на двух региональных профилях: Бабушкин—Сухэ-Батор—Дархан—Улан-Батор от 205 до 500 км в южном направлении от источника и Бабушкин—Сухэ-Батор—Орхон-Тола от 205 до 356 км в юг-юго-западном направлении от источника. Впервые построены годографы для группы Р-волн для расстояний 0—500 км от источника.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ: № 10-07-00387-а, № 11-05-92215-Монг_а, проектов СО РАН 4.9-5, ИП СО РАН 54.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алексеев А.С.* и др. Активная сейсмология с мощными вибрационными источниками / Под ред. Г.М.Цибульчик. —Новосибирск: филиал «Гео», 2004.
2. *Алексеев А.С., Глинский Б.М., Ковалевский В.В., Пушиной Б.М.* Метод вибросейсмической интерферометрии для исследования геодинамических процессов // Развитие методов и средств экспериментальной геофизики. Вып. 2. —М., 1997. С. 205—210.
3. *Бабешко В.А., Шошина С.Ю., Собисевич А.Л.* Исследование условий возникновения резонансов на неоднородностях в неограниченной среде // Докл. РАН. 1993. Т. 335. № 6. С. 716—718.
4. *Гольдин С.В., Дядьков П.Г., Дашевский Ю.А.* Стратегия прогноза землетрясений на Южно-Байкальском геодинамическом полигоне // Геология и геофизика. 2001. Т. 42. № 10. С. 1484—1496.
5. *Еманов А.Ф., Селезнев В.С., Соловьев В.М.* и др. Исследования динамических особенностей сезонных изменений волновых полей при вибросейсмическом мониторинге среды // Геология и геофизика. 1999. Т. 40. № 3. С. 474—486.
6. *Еманов А.Ф., Селезнев В.С., Соловьев В.М.* и др. Эксперименты по вибросейсмическому мониторингу земной коры // Проблемы региональной геофизики. —Новосибирск, 2001. С. 55—57.
7. *Крылов С.В., Селезнев В.С., Соловьев В.М.*, и др. Изучение Байкальской рифтовой впадины методом сейсмической томографии на преломленных волнах // Докл. АН. 1995. Т. 345. № 5. С. 674—677.
8. *Ружич В.В.* Сейсмоструктурная деструкция в земной коре Байкальской рифтовой зоны. —Новосибирск, 1997.
9. *Active geophysical monitoring. Handbook of Geophysical Exploration: Seismic Exploration. Vol. 40.* Elsevier Science. 2010.
10. *Kovalevsky V.V.* Modeling of the monitoring of anomalous zones under sounding by harmonic vibrational signals // Proc/ 1-st Intern/ Workshop on Active Monitoring in the Solid Earth Geophysics (IWAM04). —Mizunami, 2004. Pp. 204—207.