

АКТИВНЫЙ ВИБРОСЕЙСМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ АЛТАЕ-САЯНСКОГО РЕГИОНА

Виктор Михайлович Соловьев

Алтае-Саянский филиал ФГБУН «Геофизическая служба» СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, заместитель директора; Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, тел. (383)330-75-68, e-mail: solov@gs.nsc.ru

Владимир Николаевич Кашун

Алтае-Саянский филиал ФГБУН «Геофизическая служба» СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, главный инженер, тел. (383)333-38-01, e-mail: kashun@gs.nsc.ru

Семен Александрович Елагин

Алтае-Саянский филиал ФГБУН «Геофизическая служба» СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, старший научный сотрудник, тел. (383)333-25-35, e-mail: maelstrom@gs.nsc.ru

Анастасия Евгеньевна Шенмайер

Алтае-Саянский филиал ФГБУН «Геофизическая служба» СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, младший научный сотрудник, тел. (383)330-75-68, e-mail: shen@gs.nsc.ru

Николай Александрович Серезжников

Алтае-Саянский филиал ФГБУН «Геофизическая служба» СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, инженер-исследователь, тел. (383)333-25-35, e-mail: bestyah21@gs.nsc.ru

Представлены материалы режимных вибросейсмических исследований в Северо-западной части Алтае-Саянского региона. Даны оценки точности и повторяемости волновых полей по данным мониторинга. Приведены ряды режимных вибросейсмических наблюдений за 2014 г. на ряде сейсмостанций на удалениях до 200 км от вибратора ЦВ-40. Обсуждены причины выявленных вариаций времен пробега продольных волн по данным мониторинга.

Ключевые слова: вибратор ЦВ-40, коррелограммы, дебаланс, вибросейсмический мониторинг, вариации времен пробега волн.

ACTIVE VIBROSEISMIC MONITORING IN ALTAY-SAYAN REGION

Victor M. Solovyev

Altay-Sayan Branch of Geophysical Survey SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, Koptuyug Prospect 3, Deputy director; Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, Koptuyug Prospect 3, Ph. D., Senior Researcher, tel. (383)330-75-68, e-mail: solov@gs.nsc.ru

Vladimir N. Kashun

Altay-Sayan Branch of Geophysical Survey SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, Koptuyug Prospect 3, Chief Engineer, tel. (383)333-38-01, e-mail: kashun@gs.nsc.ru

Semen A. Elagin

Altay-Sayan Branch of Geophysical Survey SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, Koptyug Prospect 3, Researcher, tel. (383)333-25-35, e-mail: maelstrom@gs.nsc.ru

Anastasia E. Shenmayer

Altay-Sayan Branch of Geophysical Survey SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, Koptyug Prospect 3, Junior Researcher, tel. (383)330-75-68, e-mail: shennastya@gs.nsc.ru

Nikolai A. Serezhnikov

Altay-Sayan Branch of Geophysical Survey SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, Koptyug Prospect 3, Junior Engineer, tel. (383)333-25-35, e-mail: bestyah21@gs.nsc.ru

Provided materials represent regime vibro-active monitoring in the North-West part of Altay-Sayan region. Given the accuracy of assessment and monitoring wave-field data on regime vibroseismic observation series at distance up to 200 km from heavy weight CV-40 vibrator. Several reasons of variations in time travel reported.

Key words: CV-40 heavy-weight vibrator, correlogram, debalance, vibro-seismic monitoring, variations in time travel.

Одним из высокоэффективных методов геофизического мониторинга, по мнению многих исследователей, в ближайшие годы может стать активный виброросейсмический мониторинг с мощными вибраторами, развиваемый в Сибирском отделении Российской академии наук [1, 3]. Связано это как с широкими возможностями виброросейсмического метода по изучению напряженно-деформированного состояния среды в очаговых зонах готовящихся землетрясений, так и со значительным техническим переоснащением мониторинга. Главный объем мониторинговых работ с мощными вибраторами, безусловно, выполнен в Алтае-Саянском регионе (рис. 1). За тридцатипятилетний период исследований накоплен значительный экспериментальный материал по регистрации волновых полей от мощных вибраторов, изучению физических процессов в «ближней» и «дальней» зонах от дебалансных 40-100-тонных вибраторов, а также ряды длительных виброросейсмических наблюдений [1-3].

Технология работ. Виброросейсмические наблюдения от 40 100-тонных вибраторов выполнялись на профильной и площадной сети и станциях режимных наблюдений (рис. 1) с целью отработки технологии экспериментальных виброросейсмических исследований, изучения волновых полей от мощных вибраторов и накопления рядов наблюдений в режимных точках. При работе со 100-тонным вибратором применялись дебалансы со статическими моментами 0.126 и 0.177 т•м; при работах с 40-тонным вибратором они составляли 46.2кг•м (средние дебалансы) и 56.8кг•м (тяжелые дебалансы). Диапазоны частот зондирования выбирались в соответствии с планируемыми экспериментами и составляли, как правило, 5.469-8.496 Гц для вибратора ЦВМ-100, 6.25-9.57 и 7.91-11.23 Гц для вибратора ЦВ-40. Контроль за излучаемым сигналом осуществлялся с использованием датчиков, установленных на платформе и под вибратором (в ближней зоне) [1-3]. Время накопления сигналов составляло в среднем 40-60 мин. Высокая точность временной синхронизации процессов излучения и приема обеспечивалась с помощью навигационной системы GPS.

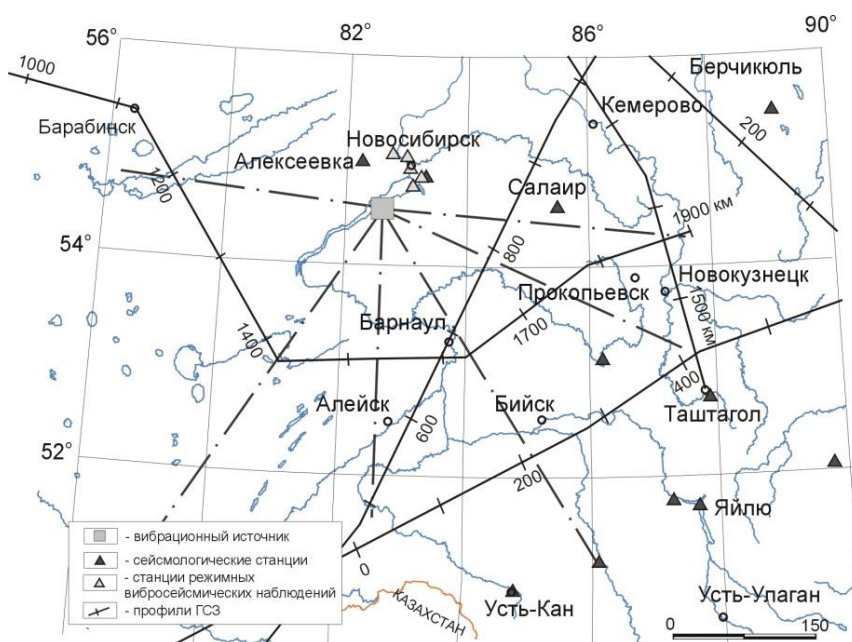


Рис. 1. Схема вибросейсмических наблюдений в Алтае-Саянском регионе

В результате проведенных работ с мощными виброисточниками в северо-западной части Алтае-Саянского региона зарегистрированы волновые поля как продольных, так и поперечных волн от опорных границ в земной коре и поверхности Мохоровичича на удалениях от 0 до 445 км; на станциях режимной сети (в разные периоды времени это были Крохалевка, Матвеевка, Центр, Бердск, Ключи, Алексеевка, Салаир) накоплены длительные ряды наблюдений [1-3].

Повторяемость. Вопросу повторяемости (фазовой и амплитудной) вибрационных сигналов от стационарных 40-100-тонных вибраторов посвящено большое количество работ [1-3 и др.]. Исследовались монохроматические сигналы и сигналы с разверткой частоты (свип-сигналы). В качестве главных выводов данных исследований можно отметить высокую амплитудную и фазовую идентичность сигналов от мощных вибраторов, позволяющую регистрировать лунно-солнечные вариации [1]. Специальными многодневными экспериментами в стационарном сейсмологическом павильоне "Ключи" на удалении ~50 км от вибратора было установлено, что повторяемость вибросейсмических воздействий (исследовалась разность времен повторных сеансов опорных Р-и S-волн от поверхности кристаллических пород) можно оценивать как 10^{-3} - 10^{-4} с. Анализ графика разности времен продольной волны от повторных сеансов (с перерывом в 6-8 часов) за длительный четырехлетний период показывает, что средние значения отклонений (по модулю) также составляют примерно 0.001-0.002 с. Это на порядок меньше выявляемых здесь годовых вариаций кинематических параметров по результатам режимных вибросейсмических наблюдений [1, 3]. Ниже, на рис. 2, приведены примеры рядов режимных наблюдений за 2014 г. на сейсмологических станциях, которые одновременно являются станциями режимных наблюдений.

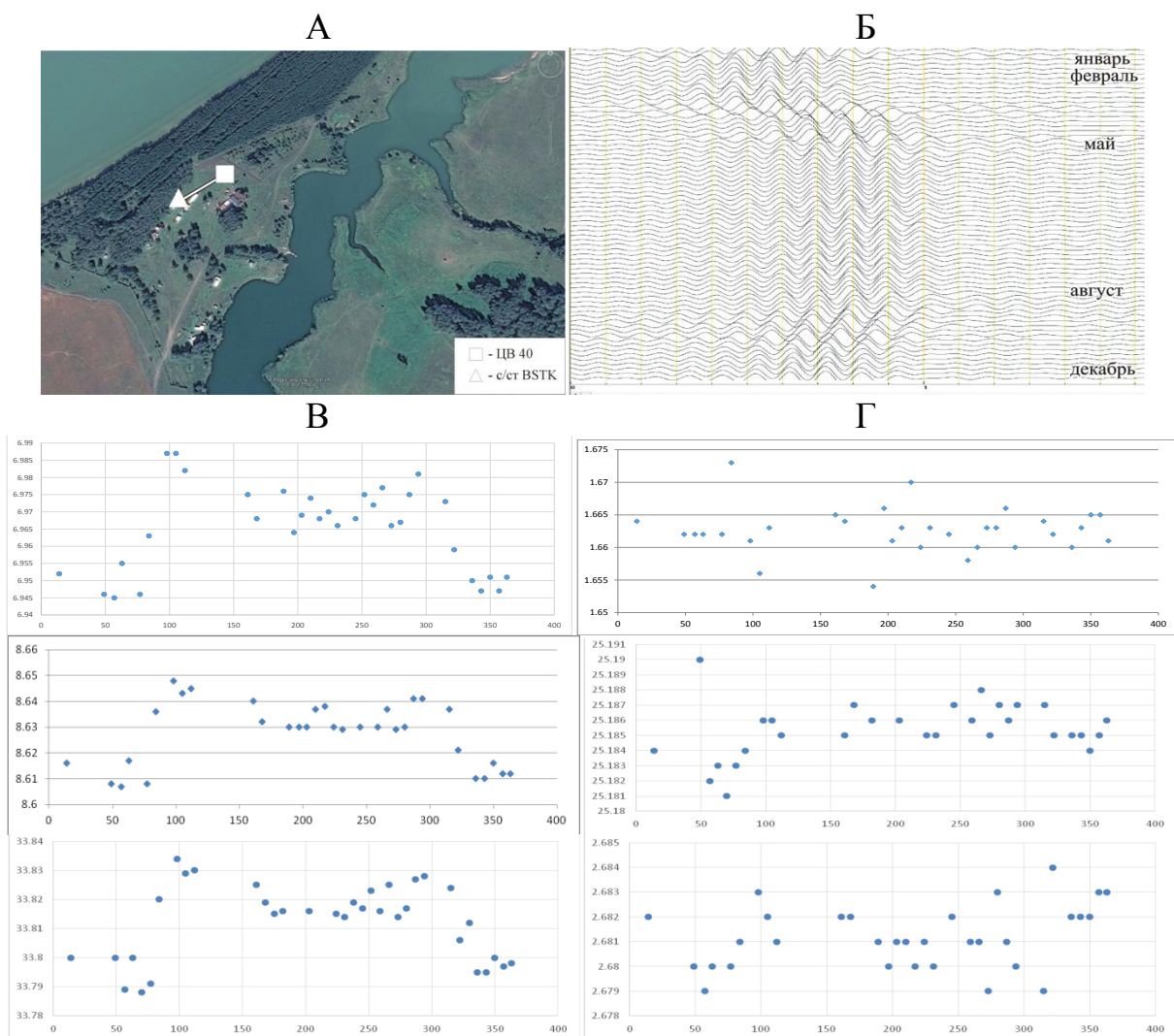


Рис. 2. К анализу результатов вибросейсмического мониторинга в Алтае-Саянском регионе. А – Быстровский вибросейсмический полигон, Б – ряды наблюдений на с/ст BSTK вблизи вибратора за 2014 г., В – (сверху вниз) ряды наблюдений на сейсмостанциях Алексеевка, Ключи и Салаир за 2014 г., Г – (сверху вниз) разность времен пробега волн на сейсмостанции Ключи и Алексеевка, Салаир и Ключи волнами P2 и P1 на с/ст Ключи (на рис. 2, В, 2, Г по оси X – календарное время в днях, по оси Y – времена, в секундах)

Анализ результатов мониторинга за 2014 г. показывает (как и ранее [1-3]) на сильную сезонную изменчивость волновых полей. В особенности это заметно по данным с сейсмостанции, установленной ~в 100 метрах от вибратора ЦВ-40 (рис. 2, А, Б). Как видно из рис. 2, Б, отмечается высокая повторяемость (кинематическая) волновых полей в зимнее и летнее время и сильное изменение в межсезонье (весна, осень). Анализ материалов в дальней зоне (на сейсмостанциях, рис. 2, В) показывает, что времена пробега продольной волны изменяются от зимы к лету на всех сейсмостанциях приблизительно на 0.04 с. При этом разность времен пробега волн на сейсмостанции Ключи и Алексеевка, Салаир и Ключи (рис. 2, Г) не превышает 0.01 с и практически не зависит от времени года. Разность же времен пробега между волнами P2 и P1 на сейсмостанции

Ключи (коровой отраженной волной (P2) и преломленной волной от фундамента (P1)) вообще не превышает 0.005 с (снизу на рис. 2, Г). Уменьшение вариаций времен пробега с разных сейсмостанций, и в особенности для разных волн на одной сейсмостанции, может говорить о сильных изменениях волновых полей именно в районе источника, что явно прослеживается на рис. 2, Б. Выявленные сезонные вариации в районе виброисточника ЦВ-40 связаны, по всей видимости, с промерзанием и оттаиванием грунта в окрестности виброисточника, о чем свидетельствует уменьшение времен пробега волн в зимнее время. Могут быть и другие причины. Ранее [1, 3] вариации рядов режимных наблюдений от 100-тонного вибратора связывались с сезонными изменениями в среде из-за сезонных изменений уровня Новосибирского водохранилища. Этот вопрос требует дальнейших исследований, как и вопрос о выявлении значимых вариаций временных рядов в сейсмически активных зонах. Так, анализ рядов на сейсмостанции Салаир в 2013 г. не выявил значимых вариаций в период мощного техногенного землетрясения 19.06.2013г с $M=6.1$ в районе карьера «Бачатский», находящегося на удалении ~20 км от с/ст Салаир. Отсутствие значимых вариаций в рядах наблюдений на с/ст «Салаир» до и после землетрясения может быть обусловлено именно техногенной природой землетрясения, произошедшего не в кристаллических породах в средней части коры, а в осадочных отложениях на небольшой глубине. Требуются дальнейшие исследования в этом направлении.

Дальнейшие перспективы мониторинговых работ в Алтае-Саянском регионе связаны с расширением апертуры наблюдений и главным образом с использованием стационарных сейсмостанций на участках сейсмогенных зон на юге Алтая. Так, в ряде экспериментов получены записи преломленной волны от границы Мохоровичича на удалении в 455 км от виброисточника на сейсмостанции Яйлю (рис. 1), что открывает перспективы мониторинга не только земной коры, но и верхней мантии сейсмоактивных зон Алтая.

Все это убедительно доказывает возможность и перспективность использования мощных вибраторов для активного мониторинга сейсмоопасных зон, крупных особо опасных инженерных объектов типа атомных электростанций, хранилищ ядерных отходов и др.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алексеев А.С., Глинский Б.М., Геза Н.И. и др. Активная сейсмология с мощными вибрационными источниками. - Новосибирск: Изд-во СО РАН, «Гео», 2004. - 350с.
2. Еманов А.Ф., Селезнев В.С., Соловьев В.М. и др. Исследование динамических особенностей сезонных изменений волновых полей при вибросейсмическом мониторинге среды // Геология и геофизика. - 1999. - № 3. - С. 474-486.
3. Соловьев В.М., Селезнев В.С., Еманов А.Ф., Кашун В.Н., Жемчугова И.В. Активный вибросейсмический мониторинг в северо-западной части Алтае-Саянской складчатой области. Активный геофизический мониторинг литосферы Земли: Материалы 2-го Международного симпозиума. - Новосибирск: Издательство СО РАН, 2005. - С. 64-70.

© В. М. Соловьев, В. Н. Кашун, С. А. Елагин, А. Е. Шенмайер, Н. А. Серезников, 2016