Геофизика

УДК 550.34

НЕКОТОРЫЕ МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПЕРЕДВИЖНЫХ ВИБРОСЕЙСМОИСТОЧНИКОВ РАЗЛИЧНОЙ МОЩНОСТИ НА УРБАНИЗИРОВАННОЙ ТЕРРИТОРИИ[1]

***Бабешко В. А.*[2], *Вильямс Р.*[3], *Ратнер С. В.*[4], *Лозовой В. В.*[5]**

SOME METHODOLOGICAL ASPECTS OF USING MOBILE VIBRATORS OF DIFFERENT POWER IN URBANIZED TERRITORY

Babeshko V. A., Williams R., Ratner S. V., Lozovoy V. V.

The purpose of the present work was to carry out the experiment — the comparison of characteristics of two mobile vibrators of different power (30 t and 10 t) Y-3000 (production of the USA) and СВ-10 (production of Russia) in urbanized territory. The experiment was carried out in June of 2005 in Krasnodar and suburbs. The data analysis was carried out at the University of Tennessee using Seismic Unix computer software.

С использованием передвижных и стационарных вибросейсмоисточников сегодня в мировой практике решается ряд важных сейсмологических задач: оценка сейсмостойкости зданий и инженерных сооружений, контроль напряженного состояния и трещиноватости сейсмоопасных районов и зон захоронения ядерных отходов, изучение нелинейных свойств и изменений физических параметров горных пород при вибровоздействии, развитие технологий вибровоздействия на нефтяные пласты с целью повышения и нефтеоотдачи, мониторинг очаговых зон, калибровка сейсмостанций и сейсмотрасс [1].

Практически с самого момента появления вибросейсмоисточников в литературе отмечалась потенциальная возможность их использования на урбанизированных территориях. Так, например, в работе [2] упоминаются геологические изыскания, проведенные при помощи вибросейсмоисточников вблизи центральной части Чикаго и Лос-Анжелеса, однако не приводится никаких деталей. На самом деле, по данной тематике практически нет опубликованных результатов. В качестве примера одной из самых интересных работ можно привести эксперимент на территории Мексико-сити, проведенный под наблюдением мексиканской национальной топливно-энергетической компании PEMEX, вскоре после мексиканского землетрясения 1985 г. [3]. Целью эксперимента было построение карты подпочвенных структур, определение разрывов в коренных подстилающих породах, которые могут вносить вклад в нарастание сейсмической опасности. Для минимизации техногенных шумов работы проводились в ночное время. Однако результаты исследования оказались малоинформативными [2,13], частично по причине того, что коренные подстилающие породы в районе Мексико-сити имеют кристаллическую структуру вулканического про-

[1]Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ (05-01-00902, 06-01-00295, 06-08-00671, 06-01-08017), РФФИ р_юг (06-01-96636, 06-01-96637, 06-01-96634, 06-01-96635), гранта Президента РФ (НШ-4839.2006.1), Программы Президиума РАН «Физика и механика сильносжатого вещества и проблемы внутреннего строения Земли и планет», Программы ОНЗ РАН «Развитие технологий мониторинга, экосистемное моделирование и прогнозирование при изучении природных ресурсов в условиях аридного климата», Программы ОНЗ РАН «Фундаментальные проблемы геологии и геохимии нефти и газа и развитие нефтегазового комплекса России».

[2]Бабешко Владимир Андреевич, академик РАН, д-р физ.-мат. наук, директор НИИ проблем механики и геоэкологии, ректор Кубанского государственного университета.

[3]Вильямс Ричард (Williams Richard), профессор факультета геофизики университета Теннесси, США.

[4]Ратнер Светлана Валерьевна, канд. физ.-мат. наук, старший научный сотрудник отдела проблем математики и механики ЮНЦ РАН.

[5]Лозовой Виктор Викторович, научный сотрудник отдела проблем математики и механики ЮНЦ РАН.

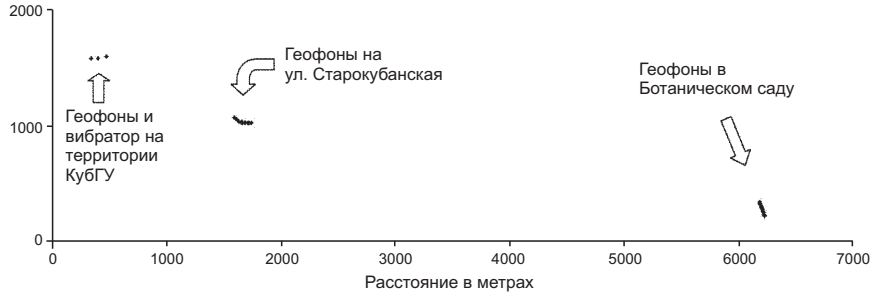

Рис. 1. Схема проведения эксперимента

исхождения, которая очень плохо поддается исследованию методом отраженных волн.

В США геологические изыскания с использованием вибросейсмоисточников проводились на урбанизированной территории Санта-Клара Вэллей и Сан-Джоус Сити, штат Калифорния [4, 5]. Исследования с высоким разрешением отраженных сейсмических полей проводились с целью определения зон дислокаций на небольших глубинах, которые увеличивают вероятность повреждений зданий и сооружений при землетрясениях. В качестве генератора сейсмических волн использовался мини-вибросейсмоисточник мощностью 2,7 т, что составляет примерно 20 % от мощности обычного вибратора.

Вибраторы позволяют формировать заданную структуру волновых процессов, генерируя все типы волн. В приповерхностном слое грунта, где основная сейсмическая энергия переносится волнами Рэлея, фрагменты геологической среды испытывают эллиптические колебания, лежащие в вертикальной плоскости, ориентированной на источник колебаний [6]. В случае наличия в среде неоднородностей, таких как, например, системы трещин, распространение упругих волн от источника колебаний имеет более сложную картину, которая в общем случае наряду с продольными и поперечными объемными волнами содержит также составляющие поверхностных волн, движущихся вдоль границ трещин. Именно эти волны переносят до 80 % всей энергии волн, распространяющихся в упругой среде, поэтому исследование локализации волнового процесса такими системами неоднородностей имеет своей целью сформулировать условия, при которых происходит уменьшение оттока энергии на бесконечность, локализация ее преимущественно в ограниченной области и, следовательно, увеличение интенсивности сейсмического поля.

В теоретическом плане для систем неоднородностей различного строения в серии работ [7–11] проведено исследование условий локализации. Для обширного использования данных теоретических построений в практике необходимо дальнейшее развитие методик совместного использования передвижных и стационарных вибросейсмоисточников, совершенствование средств приема и обработки данных. В частности, лишь небольшое количество работ, таких как [2, 3, 12] посвящено различным методологическим аспектам использования вибросейсмоисточников на урбанизированной территории, тогда как вибрационные источники при обследовании зданий и сооружений — именно тот инструмент, который позволяет детально обследовать различные городские постройки с использованием высокоинформативных бегущих волн и при наличии малоканальной аппаратуры.

Целью настоящей работы являлось проведение эксперимента по оценке и анализу сравнительных характеристики двух передвижных сейсмических вибраторов СВ-10 отечественного производства и Y-3000 производства США и отработке методики их использования на урбанизированной территориии. Эсперимент проводился в июне 2005 года на территории города Краснодара и его пригородов. Первый этап работ предполагал оценку местности проведения эксперимента, установку оборудования на заданные точки наблюдения, подготовку приемных сейсмических датчиков, привязку местности к опорной геодезической сети, привязку координат и времени по GPS, проверку технического состояния вибраторов СВ-10 и Y-3000, установку датчиков больших перемещений на излучающую платформу, запись Pilot-сигналов с обоих вибраторов, их оценку для дальнейшей корреляции, а также регистрацию сейсмической информации. Регистрация сигналов проводилась в трех

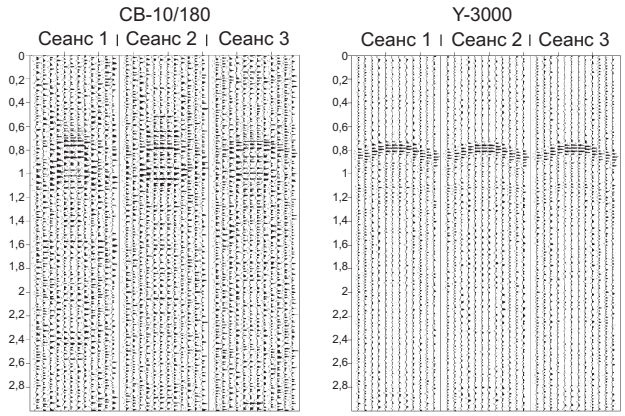

Рис. 2. Слева запись сигнала СВ-10/180, справа — Y-3000

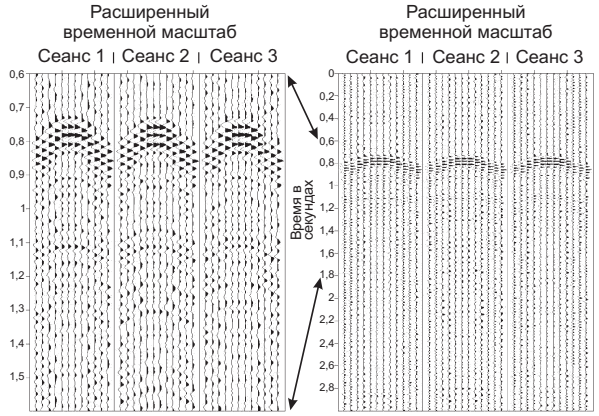

Рис. 3. Запись сигнала вибратора Y-3000 на удалении 1 400 м

точках на соответствующих удалениях от источника 100 м, 1 400 м, 6 800 м (рис. 1). Обработка информации проводилась в университете Теннесси (США) с помощью пакета Seismic Unix [14].

На удалении в 1 400 м от источника была зарегистрирована сейсмическая информация от двух типов вибраторов и получены сейсмограммы на частотах от 16 до 96 Гц соответственно. Анализируя две коррелограммы можно отметить, что на записях от 30-тонного вибратора по сравнению с 10-тонным наблюдается большая амплитуда сигнала, большая переносимая энергии на высокой частоте, лучшее разрешение (рис. 2).

На записях от 30-тонного вибратора наглядно прослеживаются множество различных вступлений (рис. 3). Явная гиперболическая форма вступлений определяется положением геофонов. Массив геофонов имел симметричную форму, наиболее близкие к источнику фиксировали сигнал раньше.

Сравнительный анализ данных позволяет сделать следующие выводы:

– вибратор СВ-10 должен производить такую же высокочастотную отраженную поверхностную волну, как и Y-3000. Однако сейсмограмма содержит синусоидальный шум, который говорит о фазовой ошибке в сейсмическом сигнале от вибратора на частоте 80–90 Гц (рис. 4);

– причина такой фазовой ошибки однозначно не определена. Возможно, она обусловлена проблемами в электронике контрольного устройства, предназначенного для выявления и коррекции фазовых ошибок, или в гидравлической части вибратора.

Данные записи на удалении 6 800 м от источника были зарегистрированы с многочисленными промышленными помехами, так как регистрация проводилась в густо населенной части города. Несмотря на достаточно большой шум, отражение прослеживается на данных Y-3000 (рис. 5).

Второй этап эксперимента предполагал обработку полученной сейсмической информации, первичный анализ виброграмм, оценку излучаемого свип-сигнала от сейсмических вибраторов, получение сравнительных характеристик опорного сигнала вибратора за продолжительный период времени его эксплуатации и оценка его влияния на качество получаемой информации, процедуру корреляции зарегистрированных сейсмических данных, анализ амплитудно-частотных характеристик, и влияния помех на качество сейсмической информации.

Анализ результатов геофизического эксперимента, проведенного с использованием сейсмических виброисточников СВ-10/180 и Y-3000, позволяет сделать следующие выводы:

– на коррелограммах на удалении 100 м отчетливо фиксируется прямая волна от обоих источников;

– данные, зарегистрированные на удалении 1 400 м, содержат не очень хорошо прослеживаемые гиперболические оси, соответствующие боковым преломленным и отраженным волнам, при этом отношение сигнал/шум выше при использовании Y-3000;

– на записях сигнала от 10-тонного вибратора, сделанных на удалении 6 800 м, уже практически не удается идентифицировать полезную информацию на фоне интенсивного техногенного шума. Используя более мощ-

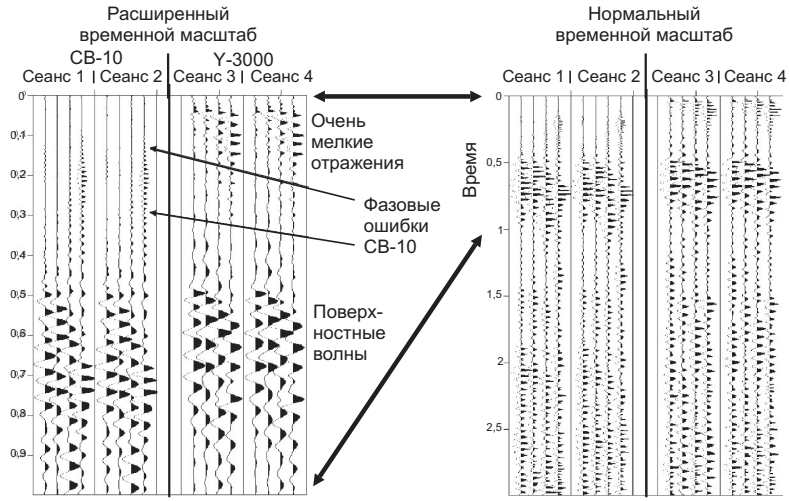

Рис. 4. Фазовые ошибки вибратора СВ-10

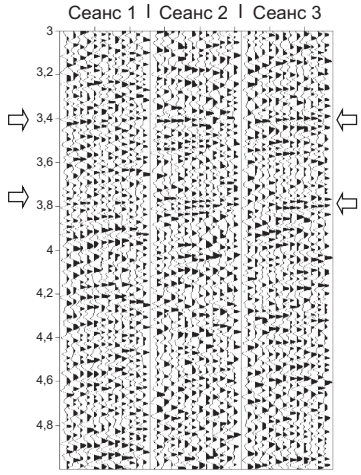

Рис. 5. Запись сигнала Y-3000 на удалении 6 800 м

ный вибратор Y-3000, можно получить хорошие отраженные данные на расстоянии около 3–4 км, на больших расстояниях, таких как 6–8 км, преодолеть помехи от городского шума можно при использовании 100 % синхронизации запуска, а также применяя накапливание;

– мелкие (на глубине менее 100 м) отраженные объекты для экологической безопасности и инженерных исследований могут быть получены как при использовании вибраторов, так и импульсных сейсмических источников.

Таким образом, при проведении подобных экспериментов в условиях города одиночного возбуждения недостаточно. Для получения удовлетворительного соотношения сигнал/шум необходимо выполнять накапливание возбуждений. Однако это возможно только при наличии четкой синхронизации возбуждений и приема по радиоканалу. Кроме того, для регистрации полезных составляющих волнового поля на значительном удалении от источника, следует увеличить время записи или ввести временную задержку начала записи.

Литература

1. Активная сейсмология с мощными вибрационными источниками / Отв. ред. Г. М. Цибульчик. Новосибирск: ИВМиМГ СО РАН, филиал «Гео» издательства СО РАН, 2004. 387 с.
2. *Dobrin M. B.* Introduction to Geophysical Prospecting. 3rd Edition. 1976. 630 p.
3. *Chavez-Pérez S.* Modelado sesmico de la cuenca de la ciudad de Mexico // Geofisica Internacional. 1993. No. 32. P. 111–130.
4. *Stephenson W. J., Odum J. K., Williams R. A., Anderson M.L.* Delineation of faulting and basin geometry along a seismic reflection transect in urbanized San Bernardino Valley, California // Seismic. Soc. Am. Bull. 2002. Vol. 92. No. 6. P. 2540–2520.
5. *Williams R. A., Stephenson W. J., Wentworth C. M., Jachens R. C., Odum J. K., Stanley R. G.* Seismic-Reflection Profiling Across the Urban Area of Santa Clara Valley, California // Images of the Northeastern Margin of the Cupertino Basin. EOS Trans. AGU. Fall Mtg. Suppl. S31A-1022.
6. Сейсмоактивные флюидно-магматические системы Северного Кавказа. М.: Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта РАН. 2005. 225 с.
7. *Бабешко В. А.* Тела с неоднородностями // ДАН. 2000. Т. 373. № 2. С. 191–193.
8. *Бабешко В. А., Павлова А. В., Ратнер С. В., Вильямс Р.* Задачи о вибрации упругого полупространства, содержащего систему внутренних полостей // ДАН. 2002. Т. 386. № 1. С. 625–628.
9. *Бабешко В. А., Бабешко О. М., Вильямс Р.* Проблема исследования напряженно-деформированного состояния литосферных плит // Изв. вузов. Сев.-Кавказ. регион. Естеств. науки. 2004. С. 10–12.
10. *Пряхина О. Д., Смирнова А. В.* Эффективный метод решения динамических задач для слоистых сред с разрывными граничными условиями // ПММ. 2004. Т. 68. Вып. 3. С. 500–507.
11. *Бабешко В. А., Бабешко О. М.* К исследованию связанных краевых задач механики сплошных сред и математической физики // ДАН. 2005. Т. 400. № 2, С. 192–196.
12. *Oriard, Lewis L.* Vibroseis operations in an urban environment // Bulletin of the Association of

Engineering Geologist. 1994. Vol. 31. No. 3. P. 343–366.

13. *Pérez-Cruz, G. A.* Estudio sismológico de reflexión del subsuelo de la ciudad de México, 1988, *M.S. Thesis*, School of Engineering, National Autonomous Universityof México (UNAM), Mexico City, DF, Mexico.
14. *Cohen J. K., Stockwell Jr. J. W.* CWP/SU: Seismic Unix Release No. 39: a free package for seismic research and processing. 2005. Center for Wave Phenomena. Colorado School of Mines, USA.

Статья поступила 27 февраля 2006 г.
Кубанский государственный университет
Университет Теннесси, США
© Бабешко В. А., Вильямс Р., Ратнер С. В., Лозовой В. В., 2006