

М. Н. ДРУЗИН

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА СЕЙСМИЧЕСКИХ ЖЕСТКОСТЕЙ ДЛЯ СЕЙСМИЧЕСКОГО МИКРОРАЙОНИРОВАНИЯ

В работе приводятся результаты проведенного автором определения скоростей распространения сейсмических волн при слабых колебаниях, возбуждаемых в грунтах путем сбрасывания грузов с определенной высоты.

Институтом сейсмического строительства и сейсмологии Академии наук Таджикской ССР проводится сейсмическое микрорайонирование ряда городов республики и площадок будущих промышленных объектов. В связи с этим выполняются работы по освоению различных методов сейсмического микрорайонирования. Нами начаты работы по применению метода микросейсморайонирования путем сравнения сейсмических жесткостей грунтов.

Теоретические работы и наблюдения за последствиями сильных землетрясений ряда исследователей показали, что наибольшее влияние на интенсивность колебаний на поверхности имеет слой грунта порядка 10—15 м [1, 2, 3, 4]. Упругие свойства пород, лежащих в основании сооружений, в значительной мере определяют поведение сооружений при землетрясении. Наличие связи между скоростями сейсмических волн и упругими постоянными среды открывает возможность для получения зависимости изменения интенсивности землетрясения от физических свойств грунта (по скоростям распространения упругих волн). Кроме того, следует учитывать обводненность грунтов, свойства подстилающих пластов, рельеф и другие факторы. Помимо указанных причин имеет значение и отношение длины приходящей волны к толщине слоя подстилающих грунтов.

На основании микросейсмических данных обследования последствий сильных землетрясений и данных сейсморазведки С. В. Медведевым [1] было найдено, что зависимость между приращением сейсмической балльности n и сейсмическими характеристиками грунта (скорости распространения продольных сейсмических волн v и плотности грунтов ρ) выражается формулой:

$$n = 1,67 [\lg(v_o \rho_o) - \lg(v_n \rho_n)] + e^{-0,04h^2}.$$

Для случая, когда имеется несколько слоев с различными скоростями и плотностями:

$$(v_n \rho_n)_{cp} = \frac{1}{\sum h_n} \sum v_n \rho_n h_n.$$

Гранит с характеристиками v_o и ρ_o был принят в качестве эталона; $e^{-0,04h^2}$ — поправка для обводненных грунтов, где h — высота стояния грунтовых вод.

Как утверждает С. В. Медведев [1], этот вывод сохраняет силу, если за эталон принять любые другие грунты. Оценка приращения сейсмической балльности по исследованиям С. В. Медведева, в общих чертах, для предельных значений совпадает с данными других авторов В. В. Попов, И. А. Гзелишвили и А. Н. Сафарян, В. О. Цшохер, Г. Ф. Рейд и А. Зиберг см. [1]).

Данные, полученные при расчетах, следует рассматривать как промежуточные, и окончательные выводы для практического использования следует давать с точностью до одного балла.

Методика сейсмического микрорайонирования методом сейсмических жесткостей была использована Г. А. Лямзиной при микрорайонировании территории Сочи-Кудепста и Махачкалы [2, 3] и А. З. Кацем при микрорайонировании района Сочи-Хоста [4]. Полученные результаты хорошо совпадают с данными инструментального, по записям слабых землетрясений, и инженерногеологического методов.

В качестве источника возбуждения сейсмических волн нами использовалась гиря весом 200 кг, сбрасываемая с высоты 2,2 м. Подъемно-сбрасывающий механизм был смонтирован на одноосном прицепе и состоял из стрелы и лебедки. Перед началом работ были испробованы различные виды датчиков: вибрографы КОО1, вибрографы и сейсмоприемники СПЭД-56М. Анализ записей показал, что наиболее подходящими является сейсмоприемники СПДЭ, так как при пользовании ими вступления получаются наиболее четкими. Кроме того, они наиболее удобны в работе, так как не требуют установки и проверки периода, не залипают при нагревании на солнце (как это происходит с КОО1) и обеспечивают надежный контакт с грунтом, поскольку имеют навинчивающийся штык, который забивается в грунт.

Регистрация велась на осциллографе Н-700 гальванометрами МОО2 с $\nu=30$ герц, коэффициентом собственного затухания $\alpha=0,7$, с чувствительностью к постоянному току, равной $2,5 \cdot 10^3 \frac{\text{мм}}{\text{ма}}$.

Одновременно велась запись в шести точках на расстояниях 3, 13, 23, 33 и 53 м. Пробная запись в одной точке удара грузов в 100 и 200 кг показала, что скорость в зависимости от веса груза не меняется, и в дальнейшем везде использовался груз 200 кг. Были опробованы различные скорости резвертки и выбрана скорость 16 см/сек, при которой получились более четкие вступления (при увеличении порядка 400). Поскольку в некоторых случаях сбрасывающее устройство и машина с осциллографом располагались рядом, была проверена возможность записи удара непосредственно осциллографом.

Перед началом работ и после их окончания приборы проверялись на идентичность, для чего записывался удар сейсмоприемниками, собранными в одной точке на уровне первого и третьего датчиков (на расстоянии 3 и 33 м). Проверка показала, что заметного сдвига по фазе и большой разницы в увеличении не наблюдалось. Форма записи по каналам хорошо совпадала.

Для освоения метода и сопоставления результатов были выбраны 10 точек в г. Душанбе, охватывающие четыре разновидности грунтов—лесссы, галечники, песчаники и известняки. Все эти точки располагались рядом с камерами, где были установлены сейсмометры АИС-2, по которым известны геологические разрезы и уровень грунтовых вод. Кроме того, это дало возможность сопоставить результаты с данными АИС-2 и записями микросейсм в этих же точках.

Кроме г. Душанбе были произведены записи в г. Курган-Тюбе и створе Нуракской плотины. Из сравнения годографов первых вступлений видно, что скорость по профилю в лессах и галечниках постепенно

возрастает. Это согласуется с положением, высказанным Г. А. Лямзиной о том, что возрастание скорости происходит за счет изменения плотности при увеличении давления, а на обводненных грунтах — за счет изменения упругих свойств среды.

Для галечников с большой глубиной залегания грунтовых вод и малой мощностью лесса на поверхности (0,5 м) наблюдается стабилизация скорости после второго датчика (пункты «Энергокомбинат» и «Домостроительный комбинат»). На годографе первых вступлений для пунктов «Кожзавод» и «Рыбопитомник», где мощность верхнего слоя лесса достигает 1,5 м, наблюдается резкое возрастание скорости по профилю, причем скорость нарастания увеличивается с увеличением уровня грунтовых вод, достигающего 0,3 м в пункте «Риссовохоз». Записи в пунктах «Кожзавод» с глубиной водного зеркала около 40 м и «Рыбопитомник» — около 8 м существенно не отличаются.

Причина возрастания скорости до 1600—1700 м/сек. требует уточнения путем повторных записей в этих точках, с расположением датчиков непосредственно на галечниках.

По годографам первых вступлений, для лессов в г. Душанбе, где мощность пластов колеблется от 17 м. («Путевский спуск») до 40 м («Институт сейсмологии»), видно, что скорость меняется незначительно (от 400 до 500—600 м/сек.), за исключением первых 13 м.

Занижение скорости в начале профиля для лессов можно объяснить рыхлостью верхнего слоя, что подтверждается записью в Нураке, где грунт был плотным с поверхности и скорость в начале отличалась от средней (560 м/сек.) на 15%. На галечнике это же явление, очевидно, наблюдалось вследствие того, что приборы ставились на поверхностный слой суглинков (0,5—1,5 м), подстилаемых галечников, и часть пути продольная волна шла по поверхностному слою.

Рассматривая случай двухслойной среды и предполагая, что верхний и нижний слои можно характеризовать некоторыми средними скоростями v_1 и $v_2 = kv_1$, можно определить толщину верхнего слоя:

$$h_o = \frac{D}{2} \sqrt{\frac{v_2 - v_1}{v_2 + v_1}} = \frac{D}{2} \sqrt{\frac{k-1}{k+1}},$$

где D — расстояние от точки удара до первого датчика. При $h < h_o$ ко второму прибору придет волна, преломленная на втором слое, при $h > h_o$ первое вступление будет относиться к волне, распространяющейся в первом слое. Например, при $k=2$, $D=13$ м; $h \approx 4$ м.

Это подтверждается при сравнении графиков, откуда видно, что увеличение скорости до средней величины происходит тем быстрее, чем тоньше поверхностный слой суглинков.

Все полученные на лессах и галечниках данные совпадают с результатами Г. А. Лямзиной и положениями С. В. Медведевым. Однако, если на обводненных галечниках действительно наблюдалось приращение скорости по сравнению с галечниками, находящимися в состоянии естественной влажности, то на лессах в районе Курган-Тюбе получился обратный эффект.

На возвышенности Уртабоз были выбраны четыре точки: одна на вершине плато, две последовательно на склоне и последняя у подножия. Крайние точки отстояли друг от друга на расстоянии, примерно, 800 м. На плато уровень грунтовых вод на глубине более 40 м (примерно такой же была мощность слоя лесса). Внизу уровень грунтовых вод на глубине около 50 см. На всем протяжении профиля вид грунтов сохранился постоянный — лессовидные суглинки. Как видно из сравнения, скорость убывает с повышением водного зеркала. Это явление можно объяснить

тем, что при смачивании лёсса упругие свойства его уменьшаются в 2—3 раза и, следовательно, уменьшается скорость распространения продольных волн.

Анализ записей на известняках и песчаниках показал, что увеличение порядка 400 недостаточно, как и недостаточна применяющаяся развертка 16 см/сек. По указанной причине, а также вследствие трудностей в выборе профилей еще не сделано окончательных выводов из экспериментов в Нуреке, проводившихся в створе плотины, где имеются четыре основных вида грунтов: песчаники, алевролиты, переслаивающиеся с песчаником, алевролиты и небольшие области галечника. Кроме того, определена скорость на лёсах в 6 км от створа в окрестностях Нурека, величина которой, как указывалось выше, хорошо согласуется с данными сейсморазведки.

Из анализа полученных материалов можно лишь приблизительно сказать, что в алевролитах с преобладанием песчаников скорость приближается к скорости в песчанике—2000 м/сек., а в переслаиваниях с преобладанием алевролитов скорость меняется скачкообразно и в некоторых случаях отличается на профиле в два раза. Так, между вторым и третьим датчиками—2500 м/сек., между пятым и шестым—1350 м/сек. На алевролитах преобладающей оказалась скорость порядка 650—850 м/сек. В табл. 1 приведены приращения балльности на лёсах и галечниках относительно средней скорости на галечнике.

В пункте «Риссовхоз», где грунтовые воды примерно на глубине 0,3 м, возрастание интенсивности на 1 балл отнесено за счет обводнения.

Таблица 1

Название точки	Скорость в м/сек.	Плотность в г/см	Жесткость	Приращение балльности
Галечник				
Домостроительный комбинат	980	2,0	1960	0 (0,08)
Энергокомбинат	985	2,0	1970	0 (0,073)
Кожзавод	1020	2,0	2040	0 (0,51)
Рыбопитомник	1106	2,0	2212	0 (-0,009)
Риссовхоз	1350	2,0	2700	1 (-0,15)
Лёсс				
Путовский спуск	453	1,6	728	1 (0,7)
Институт сейсмологии	411	1,6	656	1 (0,8)
Сейсмическая станция «Душанбе»	555	1,6	886	1 (0,6)

Как мы видим, балльность галечников в различных пунктах не отличается. На лёсах относительно галечников балльность увеличивается на 0,6—0,8 балла, т. е. округленно на 1 балл.

Для получения четких вступлений опыты были повторены с применением более мощного источника возбуждения (сбрасывался груз в 800 кг с высоты 4 м). С целью уточнения изменения скорости по профилю было удвоено число датчиков, которые ставились через 5 м. Из анализа данных видно, что средние скорости на профиле 50 м получались ниже, чем в предыдущем эксперименте. Однако, начиная с 40—45 м, результаты полностью совпадают. В табл. 2 представлены приращения балльности относительно коренных пород, в данном случае известняка.

Полученные приращения близки по значению к данным, полученным по записям сейсмометров АИС-2 [5].

В результате проделанной работы можно прийти к выводу, что описанный метод, как имеющий ряд преимуществ, в частности оперативность в получении инструментальных данных, сравнительно простая и нетрудоемкая обработка результатов и несложность применяемой аппаратуры, может быть рекомендован как для сопоставления с данными других методов, так и в качестве самостоятельного. Однако для проведения работ в широком диапазоне разновидностей грунтов необходимо доработать методику и усовершенствовать применяемую аппаратуру.

Т а б л и ц а 2

Наименование точки	Вид грунта	Плотность в г/см	Скорость в м/сек.	Приращение балльности по жесткостям	Приращение балльности по АИС-2
Варзоб	Известн.	2,5	2500	0	0
Домостроительный комбинат	Галечник	2,0	850	1 (0,93)	1 (1,32)
Рыбопитомник		2,0	1632	1 (0,8)	1 (1,32)
Энергокомбинат		2,0	1051	1 (0,78)	1 (1,32)
Институт сейсмологии	Лёсс	1,6	334	2 (1,78)	2 (1,75)
Путовский спуск		1,6	373	2 (1,70)	2 (1,75)

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. С. В. Медведев. Инженерная сейсмология, Госстройиздат, М., 1962.
 2. Г. А. Лямин. Об определении сейсмических свойств грунтов при помощи передвижной сейсмической станции, Тр. Ин-та физики Земли, № 10 (177), вып. 3, М., 1960.
 3. Г. А. Лямин. Опыт сейсмического микрорайонирования. Автореф. канд. дисс. Ин-т физики Земли, М., 1962.
 4. А. З. Каци. Сейсмическое микрорайонирование Сочи—Хоста. Тр. Ин-та физики Земли, № 10 (177), вып. 3, М., 1960.
 5. Шагин Я. Н. Результаты инструментального определения коэффициента динамичности в. Тр. Ин-та сейсмостойкого строительства и сейсмологии АН Тадж. ССР, т. 8, Душанбе, 1960.
- Институт сейсмостойкого строительства
и сейсмологии АН Таджикской ССР.