

А. Б. МАКСИМОВ

ОПЫТ СЕЙСМИЧЕСКОГО МИКРОРАПОНИРОВАНИЯ УЧАСТКОВ СТРОИТЕЛЬСТВА ВЫСОТНЫХ ПЛОТИН

Комплексной сейсмологической экспедицией ИФЗ АН СССР проведены работы по микросейсмическому районированию участков строительства Токтогульской и Саяно-Шушенской ГЭС. Целью полевых работ было изучение сейсмических свойств грунтов для последующих оценок особенностей сейсмического эффекта сильных землетрясений. Все наблюдения выполнены в виде отдельных зондирований на коротких профилях с помощью стандартной разведочной аппаратуры (сейсмостанции СС24-п и сейсмодатчиков СПЭД-56). Колебания возбуждались ударами.

Полученный материал показывает, что одних скоростных характеристик, по которым, как правило, оцениваются свойства грунтов, недостаточно. Во многих случаях, взятые в отдельности, они не позволяют надежно определить приращение балльности. Действительно, если опираться на эмпирическую связь приращения балла и скоростей продольных волн, то при сходных условиях обводненности для получения приращения в 1 балл необходимо, чтобы акустические жесткости на сравниваемых грунтах различались примерно в 4 раза. Однако в ряде случаев такие приращения имеют место и при гораздо меньших отношениях жесткостей.

Существуют другие характеристики грунта, которые связаны с приращением балльности независимо от акустической жесткости для продольных волн. Сюда относятся характер изменения скоростей с глубиной, распределение отношений скоростей продольных и поперечных волн в верхней части разреза. Кроме того, любое нарушение компактности пород, относительно слабо влияющее на значения скоростей продольных волн, резко сказывается на характере самой сейсмической записи, в частности, на преобладающих периодах и длительности колебаний. Иными словами, эти параметры являются весьма чувствительными индикаторами таких нарушений и должны быть связаны с приращением балльности. Важным является вопрос о неоднородности участков строительства, т. е. о наличии ослабленных блоков в пределах размеров крупных сооружений. С последним фактором пришлось встретиться на створе Саяно-Шушенской ГЭС.

Перечисленные характеристики слабо коррелированы между собой, поэтому знание любой из них весьма существенно.

Наличие связи между сейсмическими параметрами эффектом землетрясения было установлено нами при обследовании окрестностей г. Токтогул, где Чаткальское землетрясение 1946 г. проявилось как 6, 7 и 8-балльное. При этом максимальное расстояние между пунктами с различной балльностью не превышало 4 км. Несмотря на ограниченность набора грунтов (галечники, суглинки, супеси), здесь удалось проследить ряд интересных закономерностей, когда грунты с повышенной балльностью обладали более высокими скоростями распространения продольных волн. В этих условиях изучение перечисленных параметров приобретает особо важную роль.

Исследуя характер изменения с глубиной скоростей и отношений скоростей продольных и поперечных волн, мы воспользовались понятием о так называемых обобщенных параметрах, в частности, об обобщенных скоростях. Они представляют собой некоторые осредненные величины, характеризующие распределение скоростей на заданных уровнях глубины (в нашем случае у дневной поверхности и на глубине примерно 12 м). Эти величины позволяют дать более полное представление о характере распределения скоростей вблизи поверхности.

Обнаружено, что даже независимо от значений скоростей (случай Токтогула), балльность выше на тех грунтах, которые характеризуются более резким изменением скоростей и отношений скоростей v_p/v_s с глубиной. Заметим, что такие изменения сравнительно легко фиксировать на рыхлых грунтах, особенно при наличии границ раздела. На скальных же грунтах, где зона выветривания имеет относительно малую мощность и изменение скоростей с глубиной невелики, установление деталей скоростного разреза, как правило, затруднительно. Поэтому чаще всего при изучении скальных пород нами брались в рассмотрение скорости и отношения скоростей у дневной поверхности.

Отметим, что, поскольку в качестве одного из критериев сравнения грунтов нами берется отношение скоростей, особое внимание следует обратить на выделение волны S на сейсмограммах. Если профиль расположен на дневной поверхности, такое выделение, как правило, не представляет больших трудностей, особенно если применять систему наблюдений «УУ». Однако при инженерно-сейсмических исследованиях часто приходится располагать профили в штольнях и выработках. Вследствие ряда особенностей распространения упругих колебаний в таких условиях, а также из-за нарушенности пород вдоль стенок, волновая картина получается весьма сложной, и сейсмическая запись имеет нерегулярный характер. Корреляция фаз поперечных волн при этом затруднительна. С таким положением пришлось столкнуться при работах в районе строительства Саяно-Шушенской ГЭС. В этих условиях для нахождения скоростей поперечных волн мы использовали данные о том, что их скорость в штольне практически совпадает со скоростью волны Релея, а также использовали эмпирические соотношения между скоростями продольных и поперечных волн для различных скальных пород. Таким образом,

почти всегда удается с большей или меньшей точностью определить скорости упругих волн в среде и, следовательно, их отношения.

Как показали работы в Токтогуле, существует довольно тесная связь между балльностью землетрясений и характером сейсмической записи удара, полученной на соответствующем грунте. Особенно четко она проявляется для преобладающих частот и длительностей колебаний. Общая тенденция такова: грунтам, на которых балльность была выше, соответствует сейсмическая запись с более низкими преобладающими частотами и большой длительностью колебаний. Опыт наших работ показал, что даже при сходных значениях скоростей и отношений скоростей на сравниваемых грунтах элементы формы записи могут меняться в довольно широких пределах. Поэтому к ним следует относиться с большим вниманием.

Фактическими данными о связи неоднородности участков с эффектом землетрясений мы не располагаем. С подобным фактом пришлось столкнуться при исследовании участка строительства Саяно-Шушенской ГЭС, для которого отсутствуют какие-либо макросейсмические сведения. Есть основания полагать, что наличие ослабленных зон в пределах размеров крупных сооружений должно повышать опасность их повреждения.

В качестве меры неоднородности грунта нами было выбрано стандартное отклонение скоростей продольных волн от среднего значения. Кроме того, производилась оценка приращения балльности по средним для данного участка скоростям и по низкоскоростной части распределения скоростей. Последние скорости наиболее важны, так как именно они характеризуют ослабленные участки. Возникает вопрос, какие именно скорости из низкочастотной ветви распределения следует брать в качестве характеристики таких зон. Нами были избраны те, ниже которых лежит 20% всех замеров на данной площадке. Такой выбор весьма произволен, однако для оценки участков по низким, но достаточно представительным скоростям оправдан. Подобные подсчеты приращения балльности производились нами по формуле С. В. Медведева.

Итак, установлено, что при определении сейсмической опасности тех или иных грунтов, наряду с акустическими жесткостями, необходимо учитывать такие факторы, как отношения скоростей, изменение скоростей и отношений скоростей с глубиной, элементы формы записи, неоднородность участков. Связь всех этих параметров (кроме неоднородности) с сейсмическим эффектом была выявлена с достаточной очевидностью работами в Токтогуле. Однако базируясь на данных, полученных на одной площадке для ограниченного набора грунтов, было бы некорректно выводить какие-либо общие количественные закономерности. Поэтому полученные связи использованы при построении оценок лишь на качественном уровне.

Для общей характеристики грунта мы предложили пользоваться несколько искусственным приемом. Весь интервал наблюдаемых значений каждого параметра разбивался на 10 примерно равных отрезков, ко-

которые нумеровались в порядке, соответствующем возрастанию балльности. Характеристикой грунта по данному параметру считался порядковый номер того отрезка, в который попадало конкретное значение параметра. Для вывода интегральной оценки числа эти суммировались и нормировались к единице с последующим округлением до целого. Таким образом, каждый прунт получал в соответствие некоторое число, которое было образовано с учетом связи, правда качественной, каждой из характеристик с приращением балльности. Сами по себе полученные численные значения ничего не говорят о приращении балльности. Они лишь делят прунты на категории по степени их сейсмической опасности. Такой способ деления грунтов на категории автоматически предполагает, что все параметры берутся с равным весом. Однако на данном этапе это допущение неизбежно.

Описанный прием использован при выведении оценок для различных скальных грунтов, встречающихся в районе строительства Токтогульской ГЭС. При сопоставлении данных о них с теми, которые были получены в окрестностях г. Токтогул, а также с формулой С. В. Медведева для приращения балльности получено примерное соответствие категорий грунтов и приращения балльности. Однако найденные цифры следует рассматривать как сугубо приблизительные, так как переход от использованных нами характеристик к приращению балльности еще не определен количественно. Кроме того, в дальнейшей доработке нуждается вопрос о том, в какой мере мы имеем право переносить закономерности, полученные на рыхлых грунтах, на скальные. Для проверки полученных данных был вычислен коэффициент корреляции между картой грунтов в нашей классификации и картой особенностей грунтовых условий, выявленных по характеру распределения изосейст Чаткальского землетрясения. Он оказался равным 0,6.

Несмотря на видимые различия, как по литологическому составу, так и по степени нарушенности пород, выходящих на предполагаемых створах Саяно-Шушенской ГЭС, по сейсмическим данным, они оказались практически идентичными. Изучение акустических жесткостей, а также привлечение описанных характеристик позволило выделить более и менее благоприятные грунты. Однако расчетные приращения балльности даже между крайними по свойствам грунтами не превышали 0,2 балла, т. е. не выходили за пределы точности определения балла при землетрясении. При этом, однако, неучтенным оставался факт сильной неоднородности участков створов. Поскольку обычно оценки балльности и приращения балльности даются в расчете на однородный грунт, мы пришли к выводу, что в рассматриваемом случае в величину балльности необходимо ввести поправку, примерно одинаковую для всех вариантов створов (учитывая сходную степень неоднородности участков, найденной по стандартным отклонениям скоростей).

В ы в о д ы

Показано, что оценка балльности землетрясения может быть получена по ряду сейсмических параметров грунта. При известном скоростном разрезе весьма важно исследовать характер изменения с глубиной скоростей и отношений скоростей продольных и поперечных волн. Установлено наличие связи между балльностью землетрясения и элементами формы сейсмической записи. Последние являются важными диагностическими характеристиками.

Подход, учитывающий совокупность сейсмических параметров, представляется целесообразным. Точность оценок будет возрастать по мере нахождения количественных связей между приращением балльности и рассмотренными характеристиками.

Важным и до сих пор не изученным является вопрос о неоднородности участка строительства крупного сооружения, так как наличие небольших ослабленных зон увеличивает опасность повреждения сооружения. Пока предлагается давать оценки по левой части распределения скоростей и, кроме того, сравнением стандартных отклонений сейсмических скоростей. Представляется необходимым вести дальнейшие исследования в этом направлении.

Институт физики Земли
АН СССР