

blished, that ore formation has taken place during 8 stages of mineralization, among which for molybdenum and copper productiveness the following ones are important: quartz-molybdenitic, quartz-anhydrite-pyrite-chalcopyrite-molybdenitic and quartz-anhydrite-pyrite-chalcopyritic. By its mineral composition and mineralization character the Teghut ore deposit belongs to the porphyry copper-molybdenum ore formation.

ЛИТЕРАТУРА

1. Акопян М. С., Мелконян Р. Л., Пароникян В. О. К вопросу генезиса Тегхутского медно-молибденового месторождения.—Изв. АН АрмССР, Науки о Земле, 1982, № 6, с. 38—43.
2. Асланян А. Т., Гулян Э. Х., Пиджян Г. О., Амирян Ш. О., Фарамазян А. С., Овсепян Э. Ш., Арутюнян С. Г., Галстян Х. Г. Тегхутское медно-молибденовое месторождение.—Изв. АН АрмССР, Науки о Земле, 1980, № 5, с. 3—24.
3. Кекелия С. А., Чичинадзе Л. Л., Старостин В. И. Геолого-структурные особенности локализации медно-порфирового оруденения в колчеданосной провинции.—Геол. рудн. м-ний, 1985, № 1, с. 71—79.
4. Сейранян В. Б., Саркисян С. Ш. Новый тип медно-молибденового оруденения в Сомхето-Карабахской зоне (Малый Кавказ).—Сов. геология, 1977, № 8, с. 77—82.

Известия АН АрмССР. Науки о Земле, XL, № 4, 44—51, 1987

УДК: 551.343.4

Р. П. МАРТИРОСЯН, С. А. ПИРУЗЯН

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО СЕЙСМОМИКРОРАЙОНИРОВАНИЯ

Анализируя существующие экспериментальные и теоретические методы сейсмического микрорайонирования (СМР), рассматриваются возможности учета остаточных деформаций мягких грунтов и взаимодействия фундамента сооружения с основанием при сильных землетрясениях.

Сделана практическая рекомендация о том, что для определения реального сейсмического воздействия, задачи сейсмостойкости сооружений и СМР следует решать совместно, с учетом взаимодействия между фундаментом сооружения и его основанием. Это означает, что при выполнении СМР, особенно для площадок ответственных сооружений, целесообразно использовать спектры реакций, построенные с учетом неупругих деформаций грунтов и фактора взаимодействия.

Существуют две группы методов сейсмического микрорайонирования (СМР)—эмпирические и теоретические.

В настоящее время основными приемами СМР первой группы методов являются инструментальные исследования слабых землетрясений, сейсмозрывных волн или микросейсм. При этом для определения приращения сейсмической балльности сравниваются спектральные характеристики и параметры колебания (амплитуда, ускорение, скорости, смещения и др.) поверхностных слоев и подстилаемых скальных пород, или же исследуемых и эталонных грунтов [8, 11].

Идеалом инструментального сейсмомикрорайонирования было бы получение и анализ записей и инженерных спектров сильных и разрушительных землетрясений [8, 12]. Сопоставление спектров для различных точек районируемой площади позволило бы дать оценку приращения интенсивности землетрясения в зависимости от локальных грунтовых ускорений. Однако эта задача практически трудно решима, поскольку сильные землетрясения происходят редко—один раз в течение десятков и сотен лет. Поэтому в последние годы интенсивно разви-

ваются теоретические методы сейсмического микрорайонирования. Все они основаны на пересчете заданного на скальных породах закона колебаний (реальной или теоретической акселерограммы) при прохождении волны через исследуемую толщу осадочных отложений.

Интересные исследования резонанса упругого слоя и учет его неоднородностей осуществлены А. З. Кацом [2]. Эмпирические и теоретические исследования изменений сейсмического эффекта в зависимости от рельефа местности по макросейсмическим данным выполнены С. А. Пирузяном [9, 10], а по инструментальным данным—С. В. Пучковым [13] и др.

Наиболее практичные аналитические методы разработаны Ш. Г. Напетваридзе и его сотрудниками—метод конечных элементов и метод многократно отраженных плоских волн [16, с. 151—165], а также Л. Н. Ратниковой—метод расчета сейсмических волн в тонкослоистых средах. Последний был использован в многопрофильной коллективной работе по оценке сейсмической опасности территории строительства Армянской АЭС [14].

Все перечисленные инструментальные и аналитические методы предполагают упругую деформацию грунтов при прохождении сейсмических волн в них и с разной степенью точности дают один согласованный результат: параметры сейсмических колебаний грунта (ускорения, скорости и смещения) при землетрясениях намного больше на рыхлых грунтах, чем на жестких, и согласуются с фактом увеличения сейсмического эффекта при переходе от скальных пород к рыхлым.

Однако аналитические и экспериментальные исследования показывают, что это явление достоверно только при слабых землетрясениях или при больших эпицентральных расстояниях, т. е. в зоне распространения упругих волн. Так, например, в работах [10, 11] показано, что в эпицентральной области разрушительных землетрясений ($I \geq 7$) сейсмический эффект, по макросейсмическим данным, существенно больше в скальных грунтах, чем в рыхлых отложениях. Это особенно четко проявляется при рассмотрении жестких сооружений. В работе [4] приводится анализ экспериментальных данных по некоторым сильным землетрясениям и делается заключение о том, что на больших эпицентральных расстояниях при относительно низкой интенсивности колебаний ($a < 0,1g$) амплитуда ускорений колебаний рыхлых грунтов больше, чем скальных. С приближением к эпицентру, т. е. с увеличением интенсивности сотрясения, разница исчезает. В ближней зоне, при $\Delta < 50$ км и амплитудах ускорений $a \geq 0,1g$, величина амплитуд колебаний на скальных грунтах не меньше, чем на рыхлых, а интенсивность нарастания у последних возрастает медленнее (рис. 1а). Это объясняется нарастанием внутренних потерь сейсмической энергии при переходе в явно выраженную пластическую стадию.

Выводы, сделанные в [4, 10, 11], находят свои аналитические подтверждения в работах [3, 1] по изучению влияния пластических свойств слоя на характер колебаний свободной поверхности. Сравнение спектров колебаний в упругом и пластическом случаях показывает, что максимальные амплитуды для пластического слоя существенно меньше, чем для упругого слоя (рис. 1 б).

Такой специфический характер связи между сейсмическим эффектом и амплитудным уровнем колебаний грунта в эпицентральных зонах землетрясений заставляет при сейсмическом микрорайонировании вводить расчеты, учитывающие неупругую (упругопластическую) работу рыхлых грунтов. Такая необходимость подтверждается также результатами изучения остаточных деформаций в грунтах при сильных землетрясениях [16, с. 114—121].

В настоящее время, при решении многих практических задач инженерной сейсмологии и динамики оснований, применяются различные модели грунтов, учитывающие их упругопластическое деформирование при интенсивных динамических нагрузках. Эти модели подробно описаны в работах [5, 15]. Следует отметить, что каждая из этих мо-

делей имеет свою специфику и область применения, а использование каждой из них зависит от условий конкретной задачи.

При землетрясениях интенсивностью 7 баллов и выше сейсмические напряжения в мягких грунтах достигают 10^5 — 10^6 Па. При таких давлениях в неводонасыщенных связанных грунтах возникают непрерывные упруго-пластические волны. В этом случае в целях сейсмомикрорайонирования целесообразно пользоваться моделью С. С. Григоряна. Такой подход реализован Ю. И. Васильевым и др. в работе [16, с. 121—129].

При сейсмическом микрорайонировании площадок строительства, расположенных в эпицентральных зонах сильных землетрясений, распространяющиеся упругопластические волны в определенных условиях [5] могут рассматриваться как одномерные плоские волны, ввиду чего динамические свойства мягких грунтов можно определить диаграммой одноосного компрессионного сжатия, имеющей форму, сходную с показанной на рис. 1в (до напряжения P_1). При такой постановке задачи в целях сейсмомикрорайонирования можно использовать решения волновых задач для слоя, приведенные в работах [1, 3].

Следует проводить специальный анализ деформирования несвязанных (песчаных) грунтов при оценке на них сейсмического эффекта. Особым свойством несвязанных грунтов является их способность к изменению объема при деформации сдвига. Это явление называется эф-

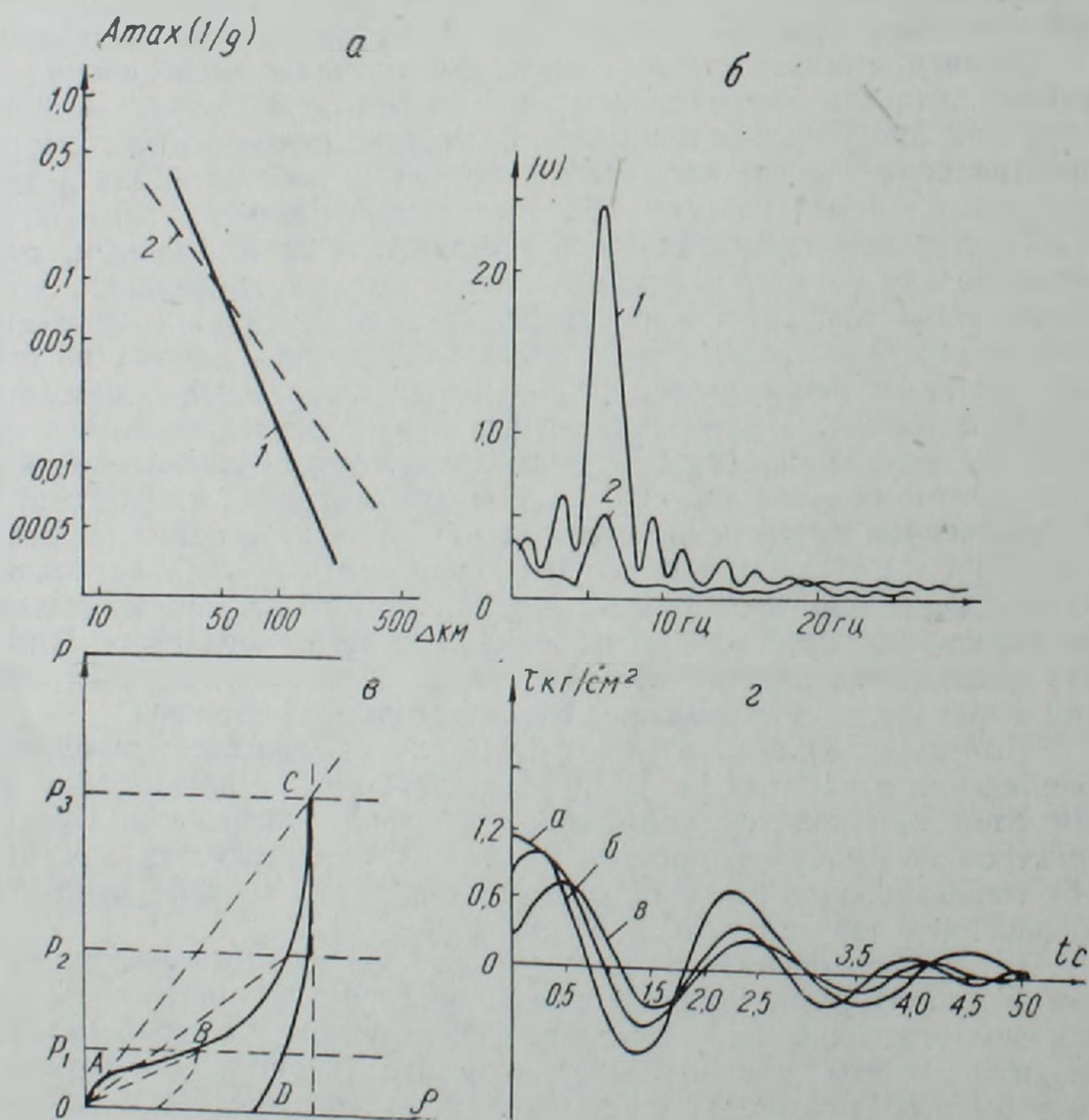


Рис. 1. а) График зависимости максимальных горизонтальных ускорений скальных (1) и рыхлых (2) грунтов от эпицентрального расстояния при землетрясении 9.II. 1971 г. (Сан-Фернандо, США); б) спектры скорости для упругого (1) и пластического (2) слоев; в) общий вид динамической диаграммы объемного сжатия грунтов; г) графики касательных напряжений в сечениях дилатирующего грунта (а— $H=4$ м, б— $H=8$ м, в— $H=12$ м).

фектом «дилатансии» и объясняется перераспределением плотности грунта по глубине. Многочисленные исследования в этом направлении [9] показывают, что дилатансионные свойства несвязанных гранулированных грунтов существенно усложняют протекание процессов при динамических нагрузках. В частности, они могут приводить к увеличению или уменьшению порового давления, разжижению водонасыщенных несвязанных грунтов, возникновению волн сжатия при распространении волн сдвига и др.

Такое специфическое для несвязанных грунтов свойство дилатансии характеризуется тем, что механическая энергия сейсмических волн поглощается трением на контактах частиц и изменением объема грунтовой среды в процессе сдвига.

В работе [6] приводится анализ влияния положительной дилатансии на распространение сейсмической волны сдвига типа SH. На рис. 1г показаны графики касательных напряжений $\tau(t)$ на разных глубинах дилатирующего грунта. Сравнивая эти кривые, можно заметить, что амплитуда напряжения и продолжительность действия волны существенно убывают по глубине.

Важно отметить, что помимо существенного падения интенсивности волны, в толще грунта вследствие дилатансии могут возникать большие остаточные деформации и осадки.

Интересные исследования проводились японскими специалистами после землетрясения 1964 г. с пиковым ускорением $0,15g$ (свыше 7 баллов) в г. Ниигате.

До землетрясения и сразу же после него проводились испытания песков методом стандартной пенестрации [17]. На рис. 2а приведены результаты зондирования в одном из пунктов. На графике отчетливо видно, что в результате сотрясения наблюдалось не только повышение прочности, но в отдельных зонах (до 5 м) и существенное падение прочности песков. В Ниигате после землетрясения осадки поверхности песка достигли 1—1,5 м.

Вышеприведенный пример заставляет задуматься о том, что при СМР на песчаных грунтах следует учитывать особенности динамического деформирования несвязанных грунтов.

Использование той или иной модели упругопластического или упруговязкого деформирования мягких грунтов при решении задач инженерной сейсмологии требует в каждом конкретном случае уточнять динамические свойства (закон объемного сжатия и сдвига, условие пластичности и др.) грунтов данной строительной площадки. Для этого следует проводить специальные лабораторные и полевые исследования.

Существуют многие лабораторные методы [5] испытания грунтов в условиях одноосного и всестороннего сжатия при переменных нагрузках, возбуждаемых ударами, пневмодинамическим способом или взрывами малых зарядов. В ходе опытов определяются динамическая диаграмма сжатия и условие пластичности. Результаты проведенных исследований, в основном, согласуются с представлениями, принятыми в рассмотренных выше моделях для описаний динамических свойств грунтов.

Однако, как показывают полевые исследования с помощью взрывов, описанные в упомянутой выше работе [16, с. 121—129], в пределах давлений $10^3—10^5 \text{ Па}$ (представляющие интерес в целях инженерной сейсмологии) в грунтах проявляются некоторые особенности. В частности, непосредственно за пределом упругости получается сложная зависимость между нормальными и девяторными напряжениями (условие пластичности), переходящая в линейную зависимость при больших давлениях (более 10^6 Па).

Поэтому, для замыкания систем уравнений динамической задачи пластичности предлагается вместо условия пластичности пользоваться диаграммой сдвига, которая вместе с диаграммой сжатия считается достаточной характеристикой динамических свойств грунтов. Кроме

того. отмечается, что за пределом упругости при упомянутых давлениях упругие деформации $\theta_{упр}$ остаются значительными, т. е. $\theta_{упр} > \theta_{ост}$. Этот факт, по-видимому, связан с кратковременностью взрывного действия. При землетрясениях и вибрационных воздействиях, имеющих более длительное время действия, остаточные деформации накапливаются после нескольких циклов, вследствие чего значительно превышают упругие. Остаточные деформации могут быть еще больше в основании сооружения вследствие взаимодействия фундамента сооружения и мягкого грунта при землетрясениях.

С целью оценки влияния неупругой работы основания и волнового взаимодействия между мягким слоем и фундаментом сооружения на сейсмические колебания последнего в работе [6] приводятся результаты расчетов волновой нагрузки на подошву фундамента и кинематических параметров его колебаний без слоя и при его существовании (рис 2б).

Как видно из этих графиков, для мягкого основания (упруго-пластического и дилатирующего), вследствие взаимодействия получаются значительные остаточные смещения (порядка 5 см). С увеличением параметра дилатансии δ остаточные смещения увеличиваются [7] и при значениях $\delta = 0,08 - 0,1$ остаточные сдвиговые деформации резко возрастают, что свидетельствует о потере прочности и разрыхлении основания (рис. 2в).

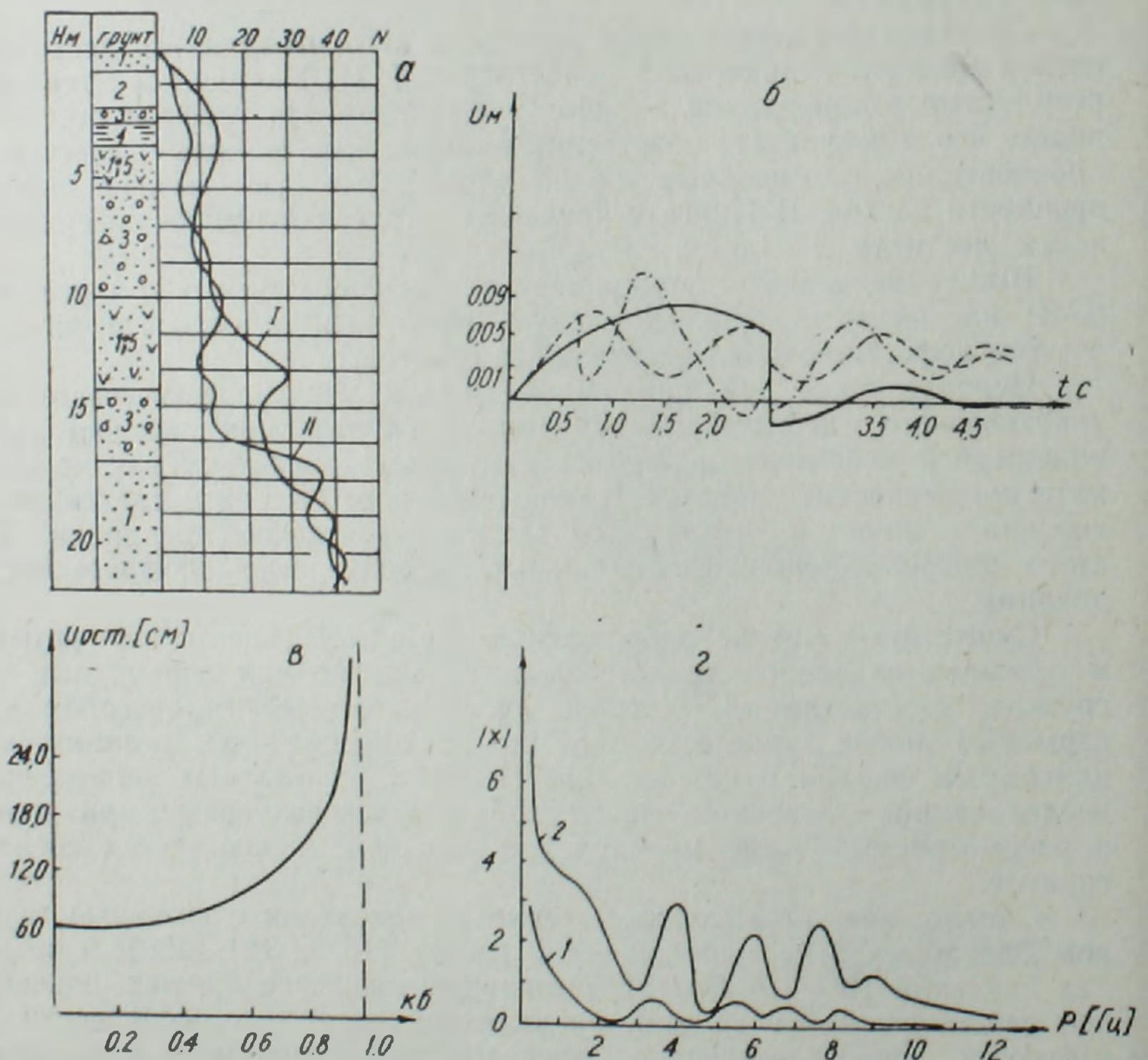


Рис. 2. а) Результаты стандартных пенетрационных испытаний песков до (I) и после (II) Ниигатского землетрясения 1964 г.: 1—5—соответственно песок мелкий, крупный, средний, иловатый и средний с органическими включениями; N—количество ударов на 30,4 см погружения стандартного грунтоноса; б) графики смещений фундамента: 1—скальное основание, 2—упругопластический слой, 3—то же, с учетом дилатансии; в) график остаточных сдвигов в зависимости от объемных деформаций; г) спектры реакций в единичном масштабе: 1—с учетом волнового взаимодействия фундамента и слоя грунта; 2—для консольного стержня с одной степенью свободы.

Из этого вытекает вывод о том, что вследствие взаимодействия между фундаментом сооружения и мягким грунтовым слоем при землетрясениях остаточные деформации в основании сооружения могут быть значительно больше, чем на свободной поверхности данной площадки, и что ускорения или смещения, получаемые путем традиционных методов сейсмического микрорайонирования, не могут характеризовать реальное сейсмическое воздействие на сооружение.

Это мнение верно не только для случая упругопластического мягкого основания, но и для упругого слоя. Сейсмические воздействия на сооружения полнее характеризуются, конечно, спектрами реакций, и поэтому в ряде работ [8, 12] обоснована и предложена методика инструментального СМР, базирующаяся на спектрах реакций линейных осцилляторов.

Это же мнение подтверждается также при построении спектра реакции линейного осциллятора с учетом волнового взаимодействия фундамента и упругого слоя (рис. 2г). Из него отчетливо видно, что взаимодействие фундамента и основания приводит к значительному уменьшению амплитуды колебаний линейного осциллятора (примерно 20—30% по сравнению с консольной схемой).

З а к л ю ч е н и е

При выполнении сейсмического микрорайонирования территорий строительства, расположенных в районах высокой сейсмичности (7 баллов и выше), следует учитывать, что величина амплитуд колебаний на мягких грунтах бывает меньше, чем на скальных. Общепринятое мнение об уменьшении сейсмической балльности на скальных грунтах относится к большим эпицентральному расстояниям ($\Delta > 50$ км) и упругой стадии деформирования грунтов. Поэтому при СМР следует учитывать упругопластические свойства мягких грунтов. С этой целью нужно использовать современные модели динамического деформирования мягких грунтов.

При сильных землетрясениях, вследствие взаимодействия фундамента сооружения и мягкого грунтового слоя, остаточные деформации в основании могут быть значительно больше, чем на свободной поверхности данной площадки. Поэтому для определения реальной сейсмической нагрузки на сооружения следует учитывать фактор взаимодействия, который приводит к значительному уменьшению амплитуды на спектре реакции линейного осциллятора.

Из изложенного выше можно сделать следующую практическую рекомендацию: ускорения, скорости и смещения грунта, получаемые традиционными методами СМР, не могут полностью охарактеризовать реальное сейсмическое воздействие. Первое приближение последнего, с достаточной для практики СМР точностью, обеспечивает спектры реакций линейных осцилляторов.

Однако, для территорий ответственных сооружений целесообразно при СМР использовать спектры реакций, построенные с учетом неупругих деформаций грунтов и фактора взаимодействия между фундаментом и основанием, что создает возможность непосредственного использования этих спектров в расчетах сооружений на сейсмостойкость.

ՏԵՍԱԿԱՆ ՍԵՅՍՄԱՄԻԿՐՈՇՐԶԱՆԱՅՄԱՆ ՈՐՈՇ ԱՍՊԵԿՏՆԵՐԸ

Ա մ փ ո փ ու մ

Սեյսմիկ միկրոշրջանացման փորձարարական և տեսական մեթոդների վերլուծության հիման վրա դիտարկվում են ուժեղ երկրաշարժերի ժամանակ փափուկ գրունտների մնացորդային դեֆորմացիաների և կառույցի հիմքի ու հիմնատակի փոխազդեցության հաշվի առնման հնարավորությունները:

Գործնական առաջարկություն է արված այն մասին, որ իրական սեյսմիկ ազդեցության որոշման համար սեյսմակյունության և սեյսմիկ միկրոշրջանացման ինդիքները յուրաքանչյուր կոնկրետ դեպքում հարկավոր է լուծել համատեղ՝ կառույցի հիմքի և հիմնատակի փոխազդեցությունը հաշվի առնելով: Մասնավորապես, պատասխանատու կառույցների բնատարածքների սեյսմիկ միկրոշրջանացման աշխատանքները կատարելիս նպատակահարմար է օգտագործել սեյսմիկ հակազդեցության սպեկտրները՝ գրունտների ոչ գծային դեֆորմացիաների և կառույցի հիմքի ու հիմնատակի փոխազդեցությունը հաշվի առնելով:

R. P. MARTIROSIAN, S. A. PIRUZIAN

SOME ASPECTS OF THE THEORETICAL SEISMIC MICROZONING

A b s t r a c t

Analysing the available experimental and theoretical methods of seismic microzoning (SMZ) the possibilities of an accounting the soft grounds residual deformations as well as the interaction between a construction foundation with its basement during strong earthquakes are considered.

A practical recommendation is made, that for determining some real seismic influence, the problems of seismic stability and SMZ must be solved in conference, accounting the interaction between the construction foundation and its basement. It means that during SMZ, especially for the responsible building sites, it is expedient to use the spectra of reactions, designed by accounting the grounds non-elastic deformations and the interaction factor.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Зволинский А. В. Волновые процессы в неупругих средах. Вопросы инженерной сейсмологии. Вып. 23, М.: Наука, 1982, с. 4—19.
2. Кац А. З. К вопросу об учете грунтовых условий при сейсмическом микрозонировании. Тр. Геофиз. ин-та АН СССР, т. 30 (157), М., 1955, с. 217—225.
3. Ковшов А. Н. О колебаниях поверхностного упругопластического слоя грунта—Изв. АН СССР, Физика Земли, 1981, № 8, с. 55—60.
4. Крамынин П. Н., Чернов Ю. К., Штейнберг Б. В. Ускорения колебаний скальных и рыхлых грунтов при сильных землетрясениях. Вопросы инженерной сейсмологии. Вып. 19, М., Наука, 1973, с. 140—148.
5. Красников Н. Д. Динамические свойства грунтов и методы их определения. Л.: Стройиздат, 1970, 239 с.
6. Мартиросян Р. П. Влияние дилатансии на распространение сейсмической волны сдвига в мягких грунтах. Изв. АН АрмССР, сер. техн. наук, т. XXXIV, № 4, Ереван, 1981, с. 31—37.

7. *Мартirosян Р. П.* Влияние дилатансии на взаимодействие жесткого фундамента с сейсмическими упругопластическими волнами сдвига. Реф. сб.: Сейсмостойкое строительство. М., 1981, вып. 4, с. 22—26.
8. *Назаров А. Г., Антоненко Э. М., Кац А. З., Коган Л. А., Лямзина Г. А., Лыкошин А. Г., Напетваридзе Ш. Г., Пирузян С. А., Трофименков Ю. Г.* К проблеме сейсмического микрорайонирования. Бюллетень по инженерной сейсмологии, № 7, Ереван: Изд. АН Арм. ССР, 1972, с. 11—24.
9. *Николаевский В. М.* Механические свойства грунтов и теория пластичности. Итоги науки и техники. Механика твердых деформируемых тел. ВНИИТИ, 1972, т. 6, —86 с.
10. *Пирузян С. А.* К вопросу влияния микрогеологии на величину силы сотрясения по данным Гегечкорского землетрясения 1957 г.—Изв. АН АрмССР, техн. науки, 1957, т. X, № 6, с. 68—73.
11. *Пирузян С. А.* Метод уточнения исходной сейсмической балльности для целей микрорайонирования и детального сейсморайонирования.—В кн.: Материалы республик. научно-техн. конференции молодых ученых. Ереван: Лубс, 1967, с. 123—146.
12. *Пирузян С. А.* Метод определения сейсмических воздействий на сооружения по записям сильных и слабых землетрясений для целей микросейсморайонирования. Бюллетень по инженерной сейсмологии, № 6, 1970, с. 75—82.
13. *Пучков С. В.* Закономерности колебаний грунта при землетрясениях.—М.: Наука, 1974, 119 с.
14. *Ратникова Л. Н., Штейнберг В. В., Шебалин Н. В., Пирузян С. А., Аракелян Ф. О.* Оценка сейсмической опасности района строительства электростанции. В кн.: Вопросы инженерной сейсмологии, вып. 18, М., Недра, 1976, с. 41—61.
15. *Рахматулин Х. А., Сагомоян А. Д., Алексеев А. А.* Вопросы динамики грунтов. М.: 1964, 362 с.
16. Сейсмическое микрорайонирование. М.: Наука, 1977, 248 с.
17. Niigata Earthquake of 1964. Japan Committee on Earthquake Engineering, p.p. 18.

Известия АН АрмССР, Науки о Земле, XL, № 4, 51—61, 1987

УДК: 556.552 (479.25) + 551.576

Г. Р. ТОРОЯН, В. И. ХВОРОСТЬЯНОВ

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОРОГРАФИЧЕСКИЕ ОБЛАКА С ЦЕЛЬЮ УВЕЛИЧЕНИЯ ОСАДКОВ В БАССЕЙНЕ ОЗ. СЕВАН

С помощью двумерной нестационарной математической модели исследованы микрофизические поля орографических облаков и осадков в естественных условиях и при засеве с помощью наземных и приподнятых аэрозольных генераторов, имитирующих воздействия на облака в бассейне озера Севан. Исследовано пространственно-временное распределение интенсивности и сумм осадков при различных расположениях и мощностях генераторов. Оценены интегральные суммы выпадающих осадков до и после препятствия.

Введение. Одним из способов решения проблемы по сохранению уровня озера Севан является воздействие на зимние орографические облака с целью увеличения осадков в бассейне озера. Согласно исследованиям [4] в зимних условиях при обтекании южным и юго-западным потоками Гегамского хребта как с наветренной стороны, так и за хребтом над Севаном образуются стабильные орографические облака Sc—Ac. Эти облака переохлажденные, капельные и пригодны к воздействию для увеличения осадков в бассейне озера. Одним из способов воздействия на эти облака является, например, засеив твердой углекислотой с самолета [4]. Моделирование такого засева проводилось в предыдущих работах авторов [9, 10]. Однако применение самолетного засева облаков в горных районах часто ограничено правилами техники безопасности полетов. Другой способ воздействия, достаточно эффективный и простой—это засеив орографических облаков с помощью наземных и приподнятых аэрозольных генераторов [2, 3, 11, 12].