

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
НАУЧНЫЙ СОВЕТ
ПО ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ
И ГИДРОГЕОЛОГИИ

ГОССТРОЙ СССР
ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ И НАУЧНО-
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ПО ИНЖЕНЕРНЫМ ИЗЫСКАНИЯМ
В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

СЕЙСМИЧЕСКОЕ МИКРОРАЙОНИРОВАНИЕ И ТЕХНОГЕНЕЗ

Ответственный редактор
доктор геолого-минералогических наук
Н.И.КРИГЕР



МОСКВА "НАУКА" 1985

Сейсмическое микрорайонирование и техногенез. М.: Наука, 1985.

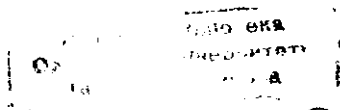
В сборнике рассматриваются сейсмические условия различных районов СССР и их изменения под влиянием техногенеза. Приводятся результаты экспериментальных работ по изучению влияния процессов осушения и подтопления территории на приращение сейсмического балла, рассматриваются результаты теоретических расчетов акселерограмм сильных движений в мерзлых грунтах.

В сборнике приводятся результаты анализа сейсмологических, тектонических, геолого-геофизических данных при уточнении исходного сейсмического балла для территории г.Кисловодска. Рассматривается схема инженерно-геологического районирования Монголии, которая может быть использована при детальном сейсмическом районировании.

Сборник рассчитан на научных и инженерно-технических работников научно-исследовательских, изыскательских и проектных организаций, геологов и геофизиков широкого профиля.

Рецензенты: С.Л.Афанасьев, А.Ж.Кожеников

99
4162



1154639

С 3205000000-365
042(02)-85 Без объявления

© Производственный и научно-исследовательский институт по инженерным изысканиям в строительстве, 1985

ДИСПЕРСНЫЕ ГОРНЫЕ ПОРОДЫ КАК СРЕДА
РАСПРОСТРАНЕНИЯ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛН

Н.И.Кригер

Дисперсные горные породы являются специфической средой распространения сейсмических волн. Этот факт недостаточно учитывается современной сейсмологией. Между тем его практическое значение велико, так как основаниями фундаментов зданий и сооружений по большей части являются дисперсные породы. Эти породы обладают некоторыми свойствами, не характерными для других сред распространения сейсмических волн.

В коллоидной химии дисперсной системой называется гетерогенное (многофазное) вещество, в котором по крайней мере одна фаза (однородная часть системы) представлена частицами размером от молекулы до щелка [22]. Частицы, имеющие диаметр > 1 мкм, называются грубодисперсными. При изучении горных пород глины, суглинки и супеси иногда называют высокодисперсными. В данной статье мы будем дисперсными называть глины, суглинки, супеси, тонкозернистые пески и другие породы, аналогичные им по гранулометрическому составу. Обычно при диаметре зерен больше $0,1$ мм особенности структуры дисперсных пород, влияющие на их сейсмические свойства, выражены слабо.

Дисперсность вещества — особое состояние, отличающееся от твердого, жидкого и газообразного. Дисперсные горные породы являются обычно грубодисперсными системами с твердой дисперсной фазой и жидкой (например, пльвуны) или газообразной (например, сухая пыль) дисперсионной средой. На границе между дисперсной фазой и дисперсионной средой происходят разнообразные физико-химические процессы, связанные с большой суммарной энергией поверхности частиц дисперсионной фазы: смачивание поверхностей, адгезия (сцепление), адсорбция некоторых веществ, поверхностная диффузия, трение и т.д. Эти процессы подвержены влиянию окружающей среды (тепловые поля, географическая зональность, орографические и другие условия увлажнения породы, техногенез, деятельность организмов и т.д.). Физико-химические процессы в дисперсных горных породах оказывают влияние на их сейсмические характеристики. Поэтому сейсмические характеристики дисперсных пород и интенсивность сейсмических эффектов в значительной мере зависят не только от состава пород, но и от изменяющейся термодинамической обстановки [4, 9, 10], климатических и других физико-географических факторов [4, 7, 8, 11, 14, 20], деятельности организмов и техногенеза [2, 4, 7, 8, 12]. Таким образом, возник новый круг вопросов, который объединен [4, 7, 10, 11]

под названием сейсмогрунтоведения (сейсмолитологии). В этом направлении исследований сейсмические характеристики пород и приращение сейсмического балла рассматриваются как величины переменные во времени [4, 7]. По этой причине карты сейсмического микрорайонирования рекомендуется составлять прогнозными, учитывающими ожидаемые природные и техногенные изменения инженерно-сейсмологических условий.

Важной особенностью дисперсных горных пород является отсутствие взаимно однозначных соответствий между различными свойствами пород. Это имеет большое практическое значение, поскольку за последние годы широко и успешно используется метод определения инженерно-геологических свойств пород на основе их корреляционных связей со скоростями сейсмических волн [1, 16, 20]. Между тем в любой совокупности определенных свойств дисперсных пород каждому значению одного свойства соответствует множество значений другого. Для описания этого своеобразного явления большого рассеивания значений характеристик свойств пород предложена концепция граничных функций [13]. Подобное рассеивание, определяющее неизбежность погрешностей при оценке инженерно-геологического свойства породы на основе ее сейсмических характеристик, не связано с ошибками экспериментов при выводе корреляционной зависимости. Оно имеет более глубокое значение и связано с влиянием большого, практически не поддающегося точному учету, количества структурных и физико-химических параметров породы.

Благодаря своеобразию свойств дисперсных пород распространение сейсмических волн в них не подчиняется законам, известным в теории упругости для однородной сплошной среды. Возрастание плотности сплошной среды вызывает уменьшение скоростей волн, тогда как в дисперсной среде обычно наблюдаются обратные соотношения. Это связано с увеличением числа контактов зерен в дисперсной породе и упрочнением породы за счет влияния поверхности сил.

В дисперсных породах с коагуляционными связями зерен возможно проявление тиксотропных свойств. Оно выражается в разжижении пород при вибрации и последующем затвердевании после ее прекращения. Это явление играет роль в образовании сейсмических селей и консистентных оползней. В недоуплотненных породах сейсмические колебания вызывают ослабление структурных связей, что при некоторых значениях влажности пород приводит к сейсмическим просадкам [11].

Ниже кратко рассматривается влияние некоторых факторов на скорости распространения сейсмических волн.

Влияние гравитационной влаги. Различные виды влаги в породе — гравитационная, капиллярная, пленочная рыхлосвязанная, прочносвязанная — оказывают различное влияние на распространение сейсмических волн. Наиболее изучено влияние гравитационной влаги. При сейсмическом микро-

районировании учитывается уровень грунтовых вод [15], ниже которого сейсмические характеристики пород меняются.

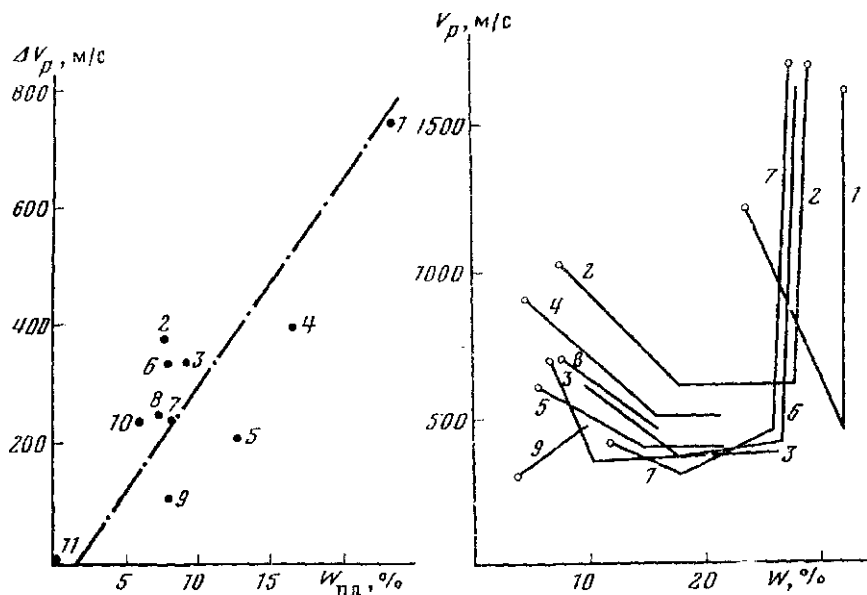
Известны многочисленные исследования влияния влажности пород на их сейсмические свойства. В формировании влажности песков главную роль играет гравитационная влага, в глинах — связанная пленочная влага. В суглинках и супесях большое значение имеют все виды влаги, существующие в виде термодинамически обусловленных парагенетических комплексов [3, 7, 10]. В зависимости от количества влаги и ее видов в дисперсной породе могут иметь место 2–3 пороговых значения влажности, при переходе через которые сейсмические свойства пород скачкообразно меняются [3, 7, 8, 10, 11]. Один из этих скачков приходится на значение влажности, отвечающее полному заполнению пор водой.

Влияние тонких пленок воды. Тонкие пленки воды, проникая в тончайшие трещины, как известно из физической химии, способны вызвать эффект расклинивания, приводить к ослаблению структурных связей в породе и увеличению трещин. Этим эффектом объясняется падение скоростей сейсмических волн при увлажнении лессовых и глинистых пород [3, 4, 7, 8, 9, 11, 16].

Исследования глин, суглинков, супесей и мелкозернистых песков позволили установить, что при определенных значениях влажности дисперсных пород падение скоростей объемных волн в них весьма характерно [7, 9, 10, 19]. При увлажнении пород и заполнении пор водой свободная пористость уменьшается и в этом смысле плотность пород возрастает. Падение скоростей волн в этих условиях кажется неожиданным. Поэтому интервал влажности пород, в котором наблюдается падение скорости волн, назван "парадоксальным интервалом" влажности. Повышение влажности пород выше верхней границы "парадоксального интервала" по большей части вызывает возрастание скоростей. При полном насыщении пор породы водой обычно наблюдается резкое повышение скорости продольных волн. Изменение влажности при ее значении меньше нижней границы "парадоксального интервала" мало сказывается на скоростях волн.

Установлены следующие закономерности в поведении скоростей волн при значениях влажности породы, приуроченных к "парадоксальному интервалу".

1. При повышении влажности породы падение скоростей волн тем больше, чем более дисперсна порода. Например, падение скоростей продольных волн по ультразвуковым измерениям составляет в супесях 200–400 м/с, в суглинках 350–400 м/с, в глинах может достигать 1300 м/с. В крупнозернистых песках "парадоксальный интервал" отсутствует. Если глинистость породы характеризовать числом пластичности $W_{пл}$, то зависимость перепада скоростей продольных волн (м/с) от глинистости можно показать на графике (рис. 1) и записать уравнением $V_p = 37W_{пл} - 65$.



Р и с. 1. Зависимость перепада скоростей продольных волн ΔV_p в "парадоксальном интервале" влажности от числа пластичности дисперсных пород

Глины: I - элювий майкопских глин района Кавказских Минеральных Вод. Лёссовые породы: 2 - г. Буденновск, Предкавказье; 3 - район Барзобского канала (район г. Душанбе); 4 - Дунай-Днестровский район, тяжелые разности суглинков; 5 - Дунай-Днестровский район, легкие разности суглинков; 6 - Боролдай (район Алма-Аты); 7 - Яванская долина, верховья; 8 - Яванская долина, низовья; 9 - Геок-Тепе, Туркмения; 10 - Ак-Су, Туркмения. Пески среднезернистые: II - Уренгой, Забайкалье

Р и с. 2. Зависимость скоростей продольных волн V_p от влажности дисперсных пород

I - элювий майкопских глин; 2 - лёссовидная супесь, г. Буденновск; 3 - Барзоб; 4 - Дунай-Днестровский водороздел, суглинок; 5 - Дунай-Днестровский водороздел, супесь; 6 - верховья Яванской долины, лёсс; 7 - низовья Яванской долины, лёсс; 8 - Боролдай (район Алма-Аты), лёсс; 9 - среднезернистый песок, Уренгой

2. "Парадоксальный интервал" приурочен к породам с влажностями тем более высокими, чем более дисперсной является порода (рис. 2). Весовая влажность в "парадоксальном интервале" составляет в супесях 3-10%, в суглинках 5-20% (обычно 10-18%), в майкопских глинах 17-28%.

Значения влажности W на границах "парадоксального интервала" являются порогами, с которыми связаны достаточно резкие изменения различных свойств пород (V_p , V_s , модуль деформации, сопротивление сдвигу и т.д.). В достаточно хорошо изученных лёссовых породах значения влажности в пороговых точках на границах "парадоксального интервала" по большей части составляют 9-12% и 18-20%. Как было установлено раньше, при влажности лёссовых пород менее 10% обычно приращение сейсмического балла близко к нулю [2, 7], при влажности "парадоксального интервала" (обычно 10-18%) составляет около I балла, при полном водонасыщении (влажность более 25%) может достигать более высоких значений.

Расклинивающее действие осуществляется пленками рыхлосвязанной воды, количество которой возрастает по мере увеличения глинистости (свободной поверхности) породы. Этим объясняется зависимость интервала влажности, в котором происходит падение скоростей, от гранулометрического состава породы. При достаточно высокой влажности (этот порог остается еще слабо изученным) скоростные характеристики песчаноглинистых пород резко возрастают.

Влияние температуры. При переходе температуры через 0°C в породе происходят фазовые изменения, влекущие за собой изменение сейсмических характеристик породы. Этот вопрос освещен другими исследователями [20].

Влияние плотности (пористости) породы. Пористость может рассматриваться как косвенная характеристика запасов потенциальной механической энергии зерен, слагающих породу. При уплотнении породы (падении зерен) происходит переход потенциальной энергии в кинетическую с тепловым эффектом. Эта энергия может быть подсчитана [3, 5, 7, 14]. Уплотнение породы приводит к повышению сейсмических скоростей, если происходящее при этом нарушение структурных связей не вызывает противоположного явления. Возрастание пористости при набухании глин сопровождается падением скоростей. Таким образом, скорости сейсмических волн обратно пропорциональны запасам потенциальной механической энергии зерен в породе.

Наряду с суммарным объемом пор на сейсмические свойства пород влияют также форма и размер пор, т.е. структура и текстура породы. В значительной мере от них зависят различие сейсмических характеристик песков, лёсса и глин, а также анизотропия этих характеристик.

Влияние прочности структурных связей. При рассмотрении широко распространенной модели дисперсной породы как скопления зерен разного диаметра, соединенных глинисто-солевым цементом (цементационные связи, сцепление упрочнения) сейсмические свойства породы в значительной мере должны ставиться в зависимость от свойств цемента. Например, песчаники с кварцем и кремнистым цементом характеризуются скоростями около

4000 м/с и больше, известковистый лёсс - 600-1200 м/с. Если цемент является переменнo-прочным, то скорости сейсмических волн также являются переменными, например, зависящими от влажности или температуры породы.

Влияние кристаллохимической энергии (состав породы). Использование современных представлений о кристаллохимических связях позволяет построить обобщенную модель породы, состоящую из агрегатов различного порядка (от молекулы до массивов пород), связанных энергией ионной решетки, атомизации, водородных связей и т.д. Вышеуказанная модель горной породы со структурными связями является частным случаем рассматриваемой модели, поскольку прочность глинисто-солевого и водно-коллоидного цемента объясняется сочетанием ионных, ковалентных, водородных, вандерваальсовых и других связей, как и прочность самих зерен. Эта модель объясняет и более крупные агрегаты вплоть до массивов пород, изучаемых методами сейсморазведки и сейсмологии.

Хотя разработка подобной модели находится еще на начальном этапе развития [5] и подсчет кристаллохимической энергии гетерогенных пород связан с большими трудностями, тем не менее зависимость скоростных характеристик отдельных минералов от их кристаллохимической энергии выявляется уже в настоящее время. Установлена зависимость скоростей V_p и V_s от энергии кристаллохимических связей (зависимости выявлены на основании обобщения геофизической и кристаллохимической литературы). Энергия ионных связей и атомизации (т.е. энергия, необходимая для отрыва и удаления на бесконечное расстояние иона или атома из кристаллической решетки) определяет прочность и компактность вещества и, естественно, возрастание этой энергии вызывает увеличение скоростей волн. Разброс эмпирических данных объясняется дислокациями и другими нарушениями вещества на атомном, молекулярном и более высоком уровнях. В первом приближении мы принимаем зависимости скоростей сейсмических волн (м/с) от энергии атомизации E и энергии ионной решетки U (Дж/моль) в виде

$$V_p = 8,6 \cdot 10^{-3} E - 9,8 \cdot 10^3;$$

$$V_s = 8,5 \cdot 10^{-3} E - 2,9 \cdot 10^3;$$

$$V_p = 2,1 \cdot 10^{-3} U + 1,5 \cdot 10^3.$$

Влияние физико-географического (термодинамического) окружения. На сейсмические характеристики пород оказывают влияние также физико-географические (климат, рельеф, организмы) и техногенные факторы. С этой точки зрения породы в каждой конкретной термодинамической обстановке следует делить на инертные и сенсорные. Инертные породы (обычно талые пески, галечники) слабо реагируют на воздействие среды и в разных условиях их сейсмические характеристики приблизительно одинаковы. Сенсорные породы, напротив, способны значительно изменять свои свойства под воздействием среды. К сенсорным породам принадлежат лёсс и крио-

лититы, изменяющиеся в зависимости соответственно от влажностного и температурного режимов среды.

Влияние климата может быть иллюстрировано на примере суглинков, к которым принадлежит и лёсс. Климат влияет на свойства суглинков посредством воздействия на их влажность, от которой зависят структурная прочность, деформационные, прочностные, просадочные и сейсмические свойства этих пород. Из ведущих климатологических показателей здесь должен быть отмечен радиационный индекс сухости $R/L\tau$, где R - радиационный баланс, τ - количество атмосферных осадков, L - скрытая теплота испарения воды. Высокие (> 2) значения индекса соответствуют засушливому климату. Установлено, что увлажнение климата и понижение $R/L\tau$ вызывает изменение сейсмических характеристик суглинков, в результате чего возрастает приращение сейсмического балла [14]. Если для суглинков значение приращения сейсмического балла ΔJ в пустынях составляет в среднем около $-0,4$, то в зоне таежных лесов оно достигает $+0,5$. Этот эффект может иметь не только теоретическое, но и практическое значение.

Рельеф и техногенные процессы влияют и на сейсмические характеристики сенсорных пород посредством распределения влаги в дисперсных породах.

Изложенное показывает, что сейсмические характеристики пород находятся в зависимости от физико-химических, энергетических, физико-географических и техногенных факторов. Но даже при идентичности этих факторов при кажущемся сходстве пород сейсмические эффекты могут быть различными в зависимости от состояния пород и темпов изменения физико-географического окружения.

Следует прежде всего учитывать напряженное состояние пород. В зависимости от имеющегося в породе напряжения поведение породы при прохождении сейсмической энергии может быть различным. Известно, что механические напряжения в породе возрастают с глубиной. Это состояние существует геологически длительное время и под его влиянием порода подвергается медленным изменениям. На фоне этих напряжений существуют аномалии, вызванные природными рельефообразующими и особенно техногенными факторами. В этих случаях возможны сейсмодетонации в породе даже при невысокой интенсивности сотрясений. Наиболее отчетливо это наблюдается на сенсорных породах. Пример известен в Яванской долине, где при 4-балльном толчке в лёссовых породах образовались крупные трещины вокруг замоченного полигона [17]. Просадки породы на полигоне вызвали перераспределение напряжений в окрестностях полигона, что способствовало сейсмодетонациям. Другим примером является трещинообразование на застроенных участках в Центральных Кызылкумах при сейсмических толчках и даже без них, связанное с явлениями набухания и усадки глин, вызывающими изменение напряженного состояния пород, особенно

в "парадоксальном интервале" [21]. Среднеазиатские исследователи дают различные толкования этому явлению, которое с инженерно-геологической точки зрения, учитывающей свойства глин, объясняется очень просто.

Обобщая изложенное, можно говорить о влиянии термодинамического состояния на поведение дисперсных пород при сейсмических явлениях. В природных условиях породы находятся в состоянии механического, теплового и водного равновесия, нарушаемого сейсмическими толчками лишь высокой интенсивности. Техногенез нарушает это равновесие, и породы, находящиеся в неравновесном состоянии, деформируются даже при сравнительно слабых землетрясениях. Застроенные территории являются примером этого. Для них характерно поднятие уровня грунтовых вод и подтопление фундамента сооружений, что резко ухудшает инженерно-сейсмическую обстановку [2,7,9]. Для застроенных территорий характерно оттаивание мерзлоты, что также приводит к повышению приращения сейсмического балла [20].

Л и т е р а т у р а

1. Горяинов Н.И., Ляховицкий Ф.М. Сейсмические методы в инженерной геологии. М.: Недра, 1979. 144 с.
2. Кожевников А.Д. Особенности сейсмического микрорайонирования территории развития лёссовых грунтов. - В кн.: Сейсмическое микрорайонирование. Казань: Штиинца, 1979, с.202-209.
3. Кригер Н.И. Влажность и энергетика лёссовых пород. - В кн.: Инженерно-геологические процессы и свойства грунтов. М.: Стройиздат, 1980, с.3-24.
4. Кригер Н.И. Грунт с инженерно-сейсмологической точки зрения. - В кн.: Сейсмическое микрорайонирование. М.: Наука, 1984, с.18-22.
5. Кригер Н.И. Новые пути решения проблемы свойств лёсса: литозкология и энергетика породы. - Узб. геол. журн., 1983, № 2, с.32-35.
6. Кригер Н.И., Алешин А.С., Кожевников А.Д. О сейсмическом грунтоведении. - В кн.: Комплексные научные исследования в инженерных изысканиях для строительства. М.: Стройиздат, 1982, с.4-17.
7. Кригер Н.И., Алешин А.С., Кожевников А.Д., Миндель И.Г. Сейсмические характеристики лёссовых пород в связи с геологическим окружением и техногенезом. М.: Наука, 1980. 104 с.
8. Кригер Н.И., Герасимов А.В. и др. Инженерная литозкология и сейсмические свойства дисперсных пород. - В кн.: Тезисы докладов и сообщений к УШ науч.-техн. конф. "Изыскания для промышленного и гражданского строительства в районах со сложными инженерно-геологическими условиями на территории МНР". Улан-Батор, 1982, с.40-41.
9. Кригер Н.И., Джафаров Р.М. и др. О методах изучения инженерно-сейсмологических условий на территории маломощности лёссовых толщ.

- В кн.: Методика инженерных изысканий для мелиоративного строительства в аридной зоне. Душанбе: Дониш, 1983, с.49-52.
10. Кригер Н.И., Кожевников А.Д. О значении явлений переноса для формирования сейсмических свойств пород. - В кн.: Инженерно-геологическая основа сейсмического микрорайонирования. Ташкент: Фан, 1977, с.64-75.
 11. Кригер Н.И., Кожевников А.Д. Сейсмическое грунтоведение и вопросы сейсмического микрорайонирования. - В кн.: Сейсмическое микрорайонирование. Кишинев: Штиинца, 1979, с.81-89.
 12. Кригер Н.И., Кожевников А.Д. Скорости распространения сейсмических волн и "парадоксальный интервал влажности" в дисперсных породах. - В кн.: Инженерно-сейсмологическая основа детального сейсмического районирования и сейсмического микрорайонирования. Ташкент: Фан, 1983, с.14-16.
 13. Кригер Н.И., Кузнецов А.Г., Минц О.И. Косвенные методы оценки просадочных свойств лёссовых пород. - В кн.: Комплексная инженерно-геологическая оценка глинистых и лёссовых пород. М.: Стройиздат, 1971, с. 191-260. (Тр. ЦНИИИС; Вып. 12).
 14. Кригер Н.И., Тулабаев О.А. Энергетика горных пород и сейсмическое микрорайонирование. - В кн.: Физические поля и сейсмические свойства горных пород. М.: Стройиздат, 1981, с.4-16.
 15. Медведев С.В. Инженерная сейсмология. М.: Стройиздат, 1962. 284 с.
 16. Миндель И.Г. Изучение физико-механических свойств лёссовых пород сейсмоакустическими методами. - В кн.: Инженерные свойства дисперсных осадочных пород и формирующие их геологические процессы. М.: Стройиздат, 1970, с. 278-298. (Тр. ЦНИИИС; Вып. 4).
 17. Никитин В.И. Основы инженерной сейсмологии. М.: Изд-во МГУ, 1981. 176 с.
 18. Николаев А.В. Сейсмические свойства грунтов. М.: Наука, 1965. 184 с.
 19. Попов В.В., Терехина Г.М. и др. Использование электрических и сейсмических свойств лёссовых грунтов для целей сейсмического микрорайонирования на замачиваемых территориях. - В кн.: XXII научно-техническая конференция МИСИ. М., 1968, с.110-111.
 20. Сейсмическое микрорайонирование в условиях вечной мерзлоты/Под ред. В.П.Солоненко. Новосибирск: Наука, 1975. 90 с.
 21. Тураходжаев А.У. Процессы трещинообразования в Центральных Кызыл-кумах и их связь с инженерно-геологическими условиями (на примере г.Зарафшан и пос.Тамдыбулак). Автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук/Ин-т сейсмологии АН УзССР. Ташкент, 1981. 23 с.
 22. Щукин Е.Д., Перцов А.В., Амелица Е.А. Коллоидная химия. М.: Изд-во МГУ, 1982. 352 с.

СЕЙСМИЧЕСКОЕ МИКРОРАЙОНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ

С УЧЕТОМ ТЕХНОГЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

А.Д.Кожевников

Как известно, карта сейсмического микрорайонирования показывает приращение сейсмического балла ΔJ в зависимости от грунтовых условий и отражает инженерно-сейсмическую обстановку изученной территории на момент проведения работ. Однако в процессе застройки территории и ее эксплуатации в ряде случаев происходит широкое развитие различных техногенных процессов, приводящих к достаточно быстрому (по сравнению со временем существования строительных объектов) изменению инженерно-геологических и сейсмических условий территории. Не пытаясь дать законченную классификацию техногенных процессов, влияющих на инженерно-сейсмическую обстановку, перечислим важнейшие.

1. Техногенные изменения водного режима пород, т.е. поднятие уровня грунтовых вод (УГВ) и возрастание влажности пород на застроенных территориях, понижение УГВ и осушение пород, искусственное замачивание пород (предпостроечное, при хранении промстоков, на полях орошения, гидротехническое строительство и т.д.).

2. Изменение состава и строения пород (химическое закрепление грунтов, обжиг, механическое уплотнение или разуплотнение грунтов и т.д.).

3. Техногенное изменение температурного поля. Этот процесс наибольшее значение имеет на участках развития многолетней мерзлоты.

4. Техногенное изменение напряженного состояния пород и связанного с ним изменения плотности пород. Например, на территории городов образуется обширное глубоко проникающее поле напряжений, в пределах которого сейсмический эффект может эволюционировать во времени. Другими примерами могут служить напряжения в земной коре, вызванные строительством крупных водохранилищ, откачками жидкостей из слоя, нагнетанием их в слой, проходкой подземных выработок и т.д.

5. Изменение состояния равновесия масс на склонах – сейсмические оползни, сейсмические сели и другие сейсмодетформации в результате техногенных процессов.

В данной статье подробно рассматривать все перечисленные техногенные явления не представляется возможным, поэтому остановимся на техногенных изменениях водного режима территорий и его влиянии на проявление землетрясений.

Подтопление территорий. Известно [3,4,5,8], что застройка и дальнейшая эксплуатация территорий может приводить к существенным изменениям гидрогеологических условий. При определенном геологическом строении застроенных площадок в одних случаях отмечается общее повышение

влажности грунтов оснований (неявный тип подтопления), а в других - подъем УГВ и подтопление заглубленных частей зданий и сооружений (явный тип подтопления). Как показали наши прошлые исследования, отмечается значительное ухудшение инженерно-сейсмологической обстановки [3,67].

Новые исследования, проведенные на территории г.Чимкента в 1982-1983 гг., подтвердили ранее сделанные выводы. Участки работ в этом районе характеризуются сложными инженерно-геологическими условиями с широким развитием на территории города процессов подтопления. Наиболее характерными с точки зрения изучения влияния подтопления на инженерно-сейсмологическую обстановку территории оказались два участка, сложенные лёссовыми породами. Первый из них находится в северо-восточной части города вблизи действующего Чимкентского канала. Мощность лёссовидных суглинков около 20 м. Грунтовые воды на участке, по данным бурения 1982 г., располагаются на глубине 0,7-0,8 м от дневной поверхности. По материалам исследований 1969 г. УГВ на этом участке располагался на глубине более 5 м. За истекший период времени произошло подтопление территории, в результате чего лёссовые грунты приобрели мягкопластичную и текучепластичную консистенцию и потеряли свои просадочные свойства. Работами КазГИИЗ установлено положение УГВ на глубине менее 2 м уже в 1978 г. Грунты к настоящему времени стабилизировались и находятся в равновесии с окружающей средой, как это имеет место при естественном УГВ. По результатам сейсморазведочных работ 1982 г., новый УГВ хорошо картируется с помощью метода преломленных волн, что также говорит о стабилизации инженерно-геологических условий после подтопления территории [67].

Второй участок располагается в центральной части г.Чимкента. Отложения здесь представлены также лёссовидными суглинками мощностью 20 м. По материалам исследований 1969 г. УГВ располагался достаточно глубоко - 15 м и более, а в 1977 г. поднялся до глубины ~ 10 м. В 1982 г. грунтовые воды в пределах участка вскрыты на глубинах 3,5-4,1 м. Следует ожидать дальнейшее повышение УГВ в результате потерь воды из подземных коммуникаций и действующих арыков. Лёссовидные твердые и полутвердые суглинки, залегающие выше УГВ, обладают просадочными свойствами. Консистенция непросадочных суглинков, залегающих ниже УГВ, меняется в широком диапазоне: от твердой и полутвердой до текучепластичной.

По данным сейсморазведки, техногенный горизонт грунтовых вод на участке не картируется. Преломляющая граница с $V_p = 1400-1500$ м/с фиксируется на глубине 10,5-11 м, что значительно ниже техногенного УГВ. Такое несоответствие инженерно-геологических и сейсморазведочных данных обусловлено неравновесным состоянием поровых вод, т.е. неполным заполнением пор водой при подтоплении. С течением времени,

по мере отжима и растворения порового воздуха из подтопленных грунтов, следует ожидать наступления нового равновесия воды в грунтах, как это случилось на первом участке.

Изучение особенностей сейсмических колебаний грунтов показало, что на первом участке инженерно-сейсмические условия лучше, чем на втором. Приращение сейсмического балла, подсчитанное по изменению максимальных амплитуд землетрясений, на втором участке составляет +0,5 балла по отношению к первому участку. Следует ожидать, что по мере завершения подтопления (через 3-5 лет) лёссовые грунты на втором участке консолидируются, произойдут упрочнение их структурных связей и, как следствие, улучшение их инженерно-сейсмических свойств.

Осушение территорий. Влияние осушения грунтов на изменение их инженерно-сейсмических свойств рассматривается нами на примере г. Алматы [1, 7]. Здесь в результате интенсивных откачек подземных вод для хозяйственных нужд существенно изменилась гидрогеологическая обстановка. В центре города сформировалась обширная депрессионная воронка. На участках, попадающих в зону понижения УГВ, ожидалось улучшение инженерно-сейсмической обстановки и снижение расчетного балла.

За последние годы рядом исследователей установлено, что понижение УГВ оказывает различное влияние на сейсмический эффект в зависимости от литологических особенностей грунтов, их геоморфологического положения и других факторов. Так, для валунно-галечниковых грунтов отмечен факт незначительного изменения ΔJ при водопонижении. Напротив, для песков характерно улучшение их инженерно-сейсмических свойств при снижении УГВ [2]. Вообще, роль воды в формировании инженерно-сейсмических свойств для различных грунтов неодинакова, поэтому для уточнения действующей карты сейсмического микрорайонирования территорий г. Алматы на участках водопонижения нами были проведены специальные исследования. Участки работ, попадающие в зону влияния депрессионной воронки, представлены переслаиванием крупнообломочных и супесчано-суглинистых пород краевых частей конусов выноса. Кроме того, на некоторых участках встречается локальное (в плане первые сотни метров) увеличение мощности супесчано-суглинистых отложений до 10 м.

Комплекс полевых геолого-геофизических работ в районе развития депрессионной воронки включал инженерно-геологические работы, сейсморазведку, сейсмокаротаж и сейсмологическую регистрацию слабых землетрясений. Основой для наблюдений явился профиль длиной около 2 км, пересекающий депрессионную воронку в меридиональном направлении. Уровень грунтовых вод в пределах профиля изменяется от 1,5-2 м в северной части до 10-12 м в южной. Пункты регистрации геофизических параметров на профиле располагались равномерно и привязаны к горным выработкам (скважинам и шурфам), что позволяет сравнивать результаты гео-

физических и инженерно-геологических наблюдений. Анализ сейсморазведочных материалов свидетельствует о некоторой неоднородности волновой картины на различных участках профиля. Это относится к общей длительности записей и видимым частотам зарегистрированных волн. В пунктах наблюдений, расположенных в южной части профиля, отмечается заметная кривизна осей синфазности, что говорит о рефракции сейсмических волн и изменении скоростей распространения их с глубиной.

Совместная обработка сейсморазведочных и сейсмокаротажных данных позволяет надежно оценить средние значения скоростей продольных волн V_p для основных разновидностей пород. Наименьшими значениями V_p характеризуются супесчано-суглинистые породы в зоне аэрации. Наиболее часто встречающиеся значения V_p для них лежат в диапазоне 280–450 м/с. Крупнообломочные породы в зоне аэрации характеризуются широким спектром значений V_p от 600 до 1000 м/с, что объясняется различным содержанием в них песчано-глинистого заполнителя и различным положением в разрезе (в более глубоких слоях скорости выше, чем в залегающих ближе к поверхности). Для водонасыщенных пород характерны значения V_p от 1600 до 2000 м/с.

Обработка годографов рефрагированных волн показала значительное возрастание скорости с глубиной. Увеличение скорости отмечается как по данным наземных наблюдений, так и по каротажу шурфов. Результаты удовлетворительно описываются уравнением $V_p = 320 \cdot h^{0,37}$, где h – глубина точки определения (м). Увеличение V_p с глубиной для крупнообломочных пород отмечается и ниже УГВ.

Для подсчета ΔJ по данным сейсморазведочных работ вычислялись средние скорости V_p для грунтовой толщи, мощность которой принималась равной 12 м. В целом по профилю с юга на север наблюдается незначительное уменьшение V_p в зоне аэрации от 650 до 450 м/с. Это отражает увеличение доли мелкообломочных и суглинистых пород в разрезе в указанном направлении.

Значения приращения сейсмического балла, определенные по сейсморазведочным данным, плавно возрастают в северном направлении в полном соответствии с изменением грунтовых и гидрогеологических условий территории.

Доля приращения сейсмического балла за счет грунтовых условий незначительна и в худшем случае не превышает +0,5 балла. Наибольший вклад в суммарное приращение балла дает глубина залегания УГВ. В целом на участке ΔJ за счет грунтовых и гидрогеологических условий изменяется от +0,25 до +1 балла. Окончательные выводы о приращении сейсмологического балла территории были сделаны с учетом сейсмологической регистрации землетрясений. С этой целью проводился спектральный анализ всех зарегистрированных землетрясений с разделением их на

близкие (Δ 20–30 км) и удаленные ($\Delta > 100$ км). Все сейсмические характеристики пересчитывались по отношению к галечниковым грунтам с глубоким положением УГВ. Анализ спектральных характеристик пород на участке с различным положением УГВ показал, что глубина УГВ практически не влияет на частотный состав колебаний. Изменяется только общий уровень спектральных плотностей колебаний. На фоне общей тенденции к повышению уровня спектральной плотности в северном направлении отмечается локальный максимум, соответствующий аномальному увеличению мощности супесчано-суглинистых отложений в разрезе переслаивающихся крупнообломочных пород.

Величина приращения сейсмической интенсивности рассчитывалась по известной формуле $\Delta J = 3,32 \lg \frac{A_i}{A_0}$, где A_i и A_0 – максимальные амплитуды спектральных плотностей на изучаемом i и опорном 0 участках.

В результате совместного рассмотрения данных сейсмологии, инженерной геологии и гидрогеологии отмечается факт улучшения инженерно-сейсмических условий рассматриваемой территории в результате ее осушения. Так, сравнивая между собой участки с одинаковым геологическим строением, но изменением УГВ от 1,5–4 м до 8–12 м, получено изменение ΔJ от +1,5 балла (в первом случае) до 0 балла (во втором случае).

Особый интерес представляют участки, на которых резко возрастает мощность супесчано-суглинистых отложений. Несмотря на происшедшее на них водопонижение, значение ΔJ здесь остается высоким и составляет +1,5 балла. Этот факт объясняется тем, что в связи с низкими фильтрационными характеристиками супесчано-суглинистых грунтов, в них сохранилась высокая влажность и поэтому улучшение деформационных и прочностных характеристик в них не произошло. В этом случае улучшение инженерно-сейсмических условий не отмечено.

Выводы:

1. Техногенное изменение гидрогеологической обстановки территории приводит к изменению инженерно-сейсмических условий площадок строительства.

2. Карта сейсмического микрорайонирования должна быть прогнозной и учитывать возможное влияние техногенных процессов на приращение сейсмического балла.

3. Изучение инженерно-сейсмических свойств грунтов, затронутых процессами техногенеза, необходимо проводить с учетом особенностей их литологического строения в конкретной инженерно-геологической обстановке.

Л и т е р а т у р а

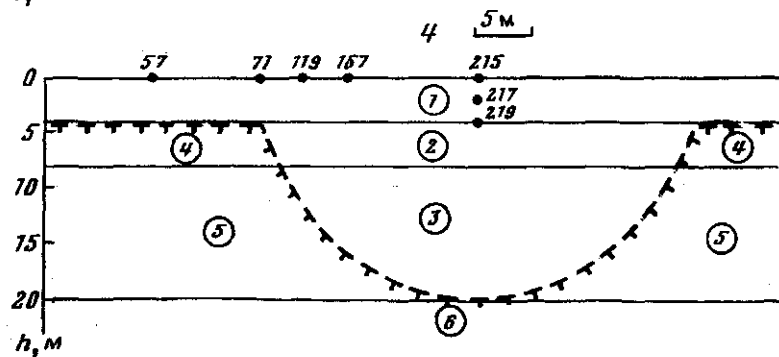
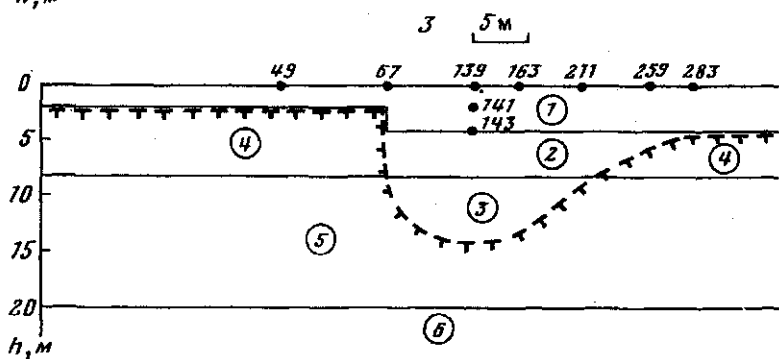
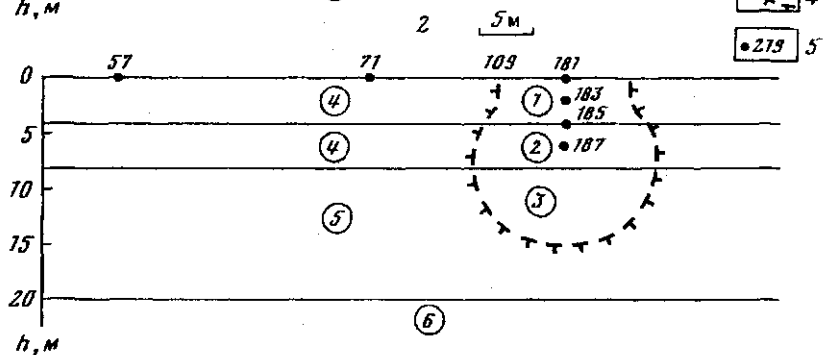
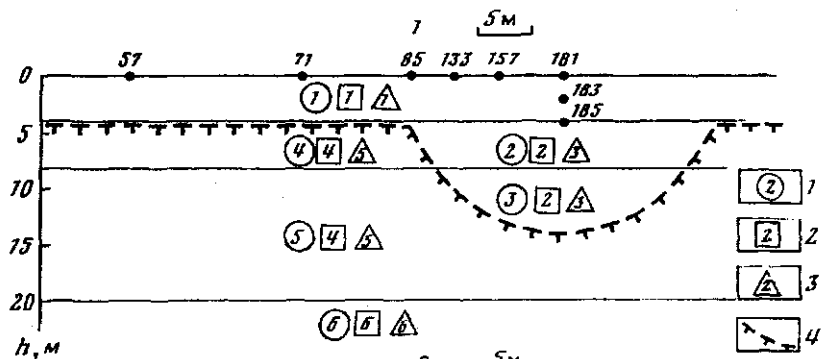
1. Баулин Д.И., Кожевников А.Д., Адиков М.Т. и др. Инженерно-сейсмологические условия территории г.Алма-Аты в связи с водопонижением и рельефом. - В кн.: Методы типизации и картирования геологической среды городских агломераций для решения задач планирования инженерно-хозяйственной деятельности. М.: МосЦИСМЗ ПО Строймзскания. 1981, с. 120-121.
- 2. Ершов И.А., Попова Е.В. О влиянии обводненности грунтов на интенсивность сейсмического воздействия. - В кн.: Эпицентральная зона землетрясений. М.: Наука, 1978, с.117-139.
3. Кожевников А.Д. Особенности сейсмического микрорайонирования территорий развития лёссовых грунтов. - В кн.: Сейсмическое микрорайонирование. Кишинев: Штиинца, 1979, с.202-209.
4. Кожевников А.Д. Оценка возникновения сейсмических просадок в лёссовых породах при сильных землетрясениях. - В кн.: Сейсмическое микрорайонирование в инженерных изысканиях для строительства: Тез. докл. Всесоюз. семинара. М.: ЦИНИС Госстроя СССР, 1979, с.54-56.
5. Кожевников А.Д. О реакции лёссовых пород на сильные землетрясения. - В кн.: Физические поля и сейсмические свойства горных пород. М.: Стройиздат, 1981, с.23-30.
6. Кригер Н.И., Алешин А.С., Кожевников А.Д., Миндель И.Г. Сейсмические характеристики лёссовых пород в связи с геологическим окружением и техногенезом. М.: Наука, 1980, с.1-104.
7. Кригер Н.И., Кожевников А.Д. Инженерно-сейсмологические условия городов и окружающая среда. - В кн.: Методы типизации и картирования геологической среды городских агломераций для решения задач планирования инженерно-хозяйственной деятельности. М.: МосЦИСМЗ ПО Строймзскания, 1981, с.48-50.
8. Кригер Н.И., Кожевников А.Д. Техногенные изменения свойств грунтов и сейсмическое микрорайонирование. - В кн.: Изменение геологической среды под влиянием деятельности человека. М.: Наука, 1982, с.150-153.

УДК 550.34

О ВЛИЯНИИ ЧАШ ПРОТАИВАНИЯ ПОД ЗДАНИЯМИ И СООРУЖЕНИЯМИ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ СЕЙСМИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ ГРУНТОВ

Т.И.Гогелия, М.А.Татаренко, В.Г.Шарапов

Строительство зданий с сохранением мерзлоты в сейсмическом отношении является более благоприятным, но осуществить его не всегда возможно. В этом случае строительство ведется с оттаиванием грунтов, когда в процессе строительства и эксплуатации зданий и сооружений в их основании возникают "чаши протаивания". Размеры и формы этих чаш



определяются радиационно-тепловым балансом, теплопроводными свойствами грунтов, разницей температур в здании и грунте, ориентировкой здания по странам света и т.д. [5,6].

С изменением температурного состояния грунтов, в частности при переходе из мерзлого состояния в талое, меняются и их сейсмические свойства [1], что в значительной степени определяет степень сейсмических воздействий на здания и сооружения.

В нормативных документах СНиП П-7-81 и РСМ-73 говорится лишь о талых грунтах безотносительно к условиям их залегания (мощности, размеров талика). Но экспериментальные наблюдения в таликовых зонах, а затем и теоретические расчеты показали высокую опасность таких зон [3,7]. Предполагалось даже, что в чахах протаивания интенсивность сейсмических колебаний может увеличиваться по сравнению с таликовыми зонами [4].

Теоретические расчеты сейсмических воздействий в чахах протаивания с использованием метода конечных элементов уточнили картину. Эти расчеты использовались авторами при сейсмическом микрорайонировании станционных поселков БАМ. В дальнейшем были выполнены расчеты по выявлению основных факторов, оказывающих влияние на интенсивность сейсмических колебаний в чахах протаивания.

Расчетные модели. Приняты упрощенные условия: колебания происходят только в области упругих деформаций, сейсмические волны подходят к основанию расчетной модели по нормали, граница между талыми и мерзлыми породами - резкая, без переходных зон. Геолого-литологический разрез и сейсмические свойства слоев приняты одинаковыми для различных чаш протаивания. Разрез и параметры слоев взяты близкими к изученным на площадке станционного пос. Чара (БАМ). Свойства слоев, слогающих разрез, - скорости распространения продольных V_p и поперечных V_s волн, плотности ρ , модули Юнга E и коэффициенты Пуассона μ - представлены в табл. 1.

Формы чаш протаивания (см. рисунок) приняты близкими к расчетным [2] при следующих условиях: разрез Р-1 - летнее время, здание ориентировано на С-Ю; Р-2 - зимнее время, здание ориентировано на С-Ю, большой перепад температур пола и грунта; Р-3 - летнее время, здание ориентировано на В-З; Р-4 - аналогично разрез Р-1, но для здания больших размеров.

Для Р-1 рассматривались еще два варианта с изменением литологии

Расчетные разрезы

1 - номер слоя по первому варианту; 2 - номер слоя по второму варианту; 3 - номер слоя по третьему варианту; 4 - граница чаши протаивания; 5 - номер расчетной точки на разрезе

Таблица 1
Параметры слоев грунта

Номер слоя	Литоология	V_p , м/с	V_s , м/с	ρ , кг/м ³	E, МПа	μ	Примечание
1	Супесь	400	200	1800	195	0,33	Талый
2	Песок	1500	300	1850	502	0,48	"
3	Галечник	2200	560	2150	2007	0,46	"
4	Песок	3500	1700	1800	14317	0,35	Мерзлый
5	Галечник	4200	2400	2100	31072	0,26	"
6	Песчаник	500	2500	2500	42367	0,33	"

грунтов, когда второй и третий слои от поверхности представлялись одним слоем, сложенным в одном случае песком, а в другом галечником.

Источники сейсмических воздействий

В зоне БАМ наиболее сильные сейсмические воздействия могут определяться как близкими землетрясениями, так и сравнительно удаленными. Следовательно, сейсмические воздействия могут иметь различный спектральный состав. В качестве входного сигнала были отобраны существенно разные акселерограммы, чтобы учесть при расчетах изменения спектрального состава колебаний грунтов при землетрясениях.

Аналогом близкого средней силы землетрясения принята акселерограмма землетрясения Сан-Франциско 22 марта 1957 г. с магнитудой 5,3 и гипоцентральной расстоянием около 10 км. Максимум спектральной плотности для этой акселерограммы отмечается на периоде 0,1 с, максимальное ускорение 102 см/с². Аналогом сильного сравнительно далекого землетрясения принята акселерограмма землетрясения Керн-Каунти 21 июля 1952 г. с магнитудой 7,7. Максимум спектра колебаний для этой акселерограммы отмечается на периоде 0,45 с, максимальное ускорение на расстоянии около 10 км - 86 см/с² [8]. Своеобразным синтезом этих двух акселерограмм может служить синтетическая акселерограмма ИСМиС АН ГССР. Максимум спектра колебаний отмечается на периоде 0,25 с с достаточно сильными колебаниями (близкими к максимуму) на периодах 0,1-0,8 с, максимальное ускорение равно 100 см/с².

Все три акселерограммы использовались в расчетах только для Р-1, в остальных случаях использовалась синтетическая акселерограмма ИСМиС как наиболее представительная в спектральном отношении.

Зависимость интенсивности колебаний от спектрального состава землетрясений

Основные результаты расчетов по разным акселерограммам для различных точек Р-1 сведены в табл. 2. Из нее видно, что почти по всем точ-

Таблица 2
Значения максимальных ускорений для различных акселерограмм

Номер точки	Сан-Франциско		Керн-Каунти		Синтетическая ИСМиС	
	a_{max} , см/с ²	степень усиления	a_{max} , см/с ²	степень усиления	a_{max} , см/с ²	степень усиления
57	215	2,11	124	1,44	150	1,50
71	212	2,08	126	1,46	160	1,60
85	217	2,13	103	1,19	156	1,56
133	416	4,08	196	2,27	204	2,04
157	387	3,79	190	2,20	197	1,97
181	306	3,00	163	1,89	180	1,80
183	273	2,63	150	1,74	174	1,74
185	200	1,96	98	1,14	136	1,36

там максимальные ускорения акселерограммы Сан-Франциско в 1,5-2,0 раза выше, чем по двум другим акселерограммам. Степень усиления меняется от 1,96 в т. 185 до 4,08 в т. 133. По акселерограмме Керн-Каунти эти изменения составляют соответственно 1,14 и 2,27, а по синтетической ИСМиС - 1,36 и 2,04. Для акселерограммы Сан-Франциско характерны и большие различия между точками. Так, различия в максимальных ускорениях для точек 133 и 57 составляют: Сан-Франциско - 1,9; Керн-Каунти - 1,6; синтетическая ИСМиС - 1,4.

Очевидно, что эти различия обусловлены неодинаковыми спектральными составами колебаний. Собственные периоды колебаний расчетной системы оказались близкими к максимуму спектра акселерограммы Сан-Франциско, поэтому именно для этой акселерограммы и наблюдались максимальные усиления. Это подтверждают данные табл. 2, где четко видны резонансные колебания для акселерограммы Сан-Франциско. Максимальные и минимальные ускорения отмечаются для всех акселерограмм на одних и тех же точках (т. 133 и т. 185). Однако максимальные ускорения, вопреки ожиданиям, отмечаются не на т. 181 в центре чаши, а в ее краевой части, на т. 133. Это обусловлено, по-видимому, конкретным сочетанием формы чаши и литологического разреза.

Влияние литологии разреза на интенсивность колебаний

Сравнение произведено по трем вариантам Р-1 (сверху вниз): первый вариант - слой супеси 4 м, песка 4 м и галечника 12 м; второй вариант - супеси 4 м, песка 16 м; третий вариант - супеси 4 м, галечника 16 м. В инженерно-геологическом и сейсмическом отношении лучшим следует считать вариант три, а худшим вариант два.

Таблица 3
Максимальные ускорения и преобладающие периоды колебаний
для разреза с различной литологией

Номер точки	Вариант 1		Вариант 2		Вариант 3	
	$a_{max},$ см/с ²	T, с	$a_{max},$ см/с ²	T, с	$a_{max},$ см/с ²	T, с
57	150	0,1	160	0,15	168	0,1
71	160	0,15	158	0,15	168	0,1
85	156	0,1	158	0,1	170	0,1
133	204	0,1	220	0,1	260	0,15
157	197	0,15	210	0,1	242	0,15
181	180	0,2	190	0,15	203	0,2
183	174	0,2	170	0,15	187	0,2
185	136	0,2	116	0,2	150	0,2

Таблица 4
Максимальные ускорения и преобладающие периоды колебаний для чаш различных форм

P-1			P-2			P-3			P-4		
Номер точки	$a_{max},$ см/с ²	T, с	Номер точки	$a_{max},$ см/с ²	T, с	Номер точки	$a_{max},$ см/с ²	T, с	Номер точки	$a_{max},$ см/с ²	T, с
71	160	0,15	71	116	0,20	49	116	0,20	57	157	0,15
85	156	0,10	109	240	0,10	667	116	0,20	71	202	0,10
181	180	0,20	181	200	0,10	139	231	0,20	215	224	0,20
185	136	0,20	185	149	0,20	143	148	0,20	219	160	0,20
57	150	0,10	57	110	0,20	141	204	0,20	119	276	0,15
133	204	0,10	183	180	0,15	163	207	0,20	167	250	0,20
157	197	0,15	187	132	0,20	211	182	0,20	217	204	0,20
183	174	0,20	-	-	-	259	168	0,20	-	-	-

Значения максимальных ускорений и периодов максимальной спектральной плотности по всем вариантам и точкам расчета акселерограмм представлены в табл. 3. Вопреки ожиданиям, максимальные ускорения отмечаются не по 2-му, а по 3-му варианту; минимальные ускорения характерны для варианта 1, а не 3. Анализ периодов максимальной спектральной плотности практически ничего не дает для выяснения причин такого расхождения между полученными и ожидаемыми результатами. Очевидно, для объяснения причин полученного распределения максимальных ускорений необходимы дополнительные расчеты с использованием акселерограмм различных спектральных составов и форм чаш протаивания. Полученные же данные не дают однозначного ответа о влиянии литологии и связанных с ней величин скоростей сейсмических волн на интенсивность колебаний, как это было определено для плоскопараллельных сред одним из авторов настоящей статьи [8].

Влияние формы и размера чаш протаивания на интенсивность колебаний

В табл. 4 в верхних четырех строчках приведены значения максимальных ускорений и периодов максимальной спектральной плотности в сопоставимых точках: вне пределов чаш, на краю их, в центре чаш и там же на глубине 4 м (см. рисунок). Остальные точки характеризуют каждую чашу в отдельности.

Анализ табл. 4 дает возможность отметить следующие закономерности в распределении интенсивности и спектрального состава колебаний:

1) геометрическая форма чаш протаивания влияет как на интенсивность, так и на спектральный состав колебаний;

2) чаша протаивания больших размеров (P-4) оказывает большое воздействие на усиление колебаний по сравнению с остальными;

3) наибольшее усиление колебаний для чаш разной формы наблюдается в различных их местах (P-1 - т.133, P-2 - т.109, P-3 - т.139, P-4 - т.119);

4) в значительной степени интенсивность колебаний изменяется в краевой части чаш протаивания (116 см/с² - т.67, P-3; 240 см/с² - т.109, P-2);

5) интенсивность колебаний на глубине 4 м для всех чаш меньше, чем на поверхности, примерно в равной степени (от 1,32 для P-1 до 1,56 для P-3);

6) для чаш протаивания одинаковой формы, но различных размеров сохраняется приблизительно одинаковый характер изменения интенсивности колебаний от точки к точке;

7) максимальные различия в интенсивности колебаний в пределах чаш протаивания и вне их не превышают двух раз, т.е. одного балла.

В качестве вывода из наших исследований отметим, что влияние литологии отложений в чашах неоднозначно и зависит от геометрии слоев и форм чаш протаивания. Теоретические расчеты сейсмических колебаний в чашах протаивания с использованием метода конечных элементов показывают меньшую их интенсивность, чем предполагалось ранее, поэтому для внедрения этого метода в практику сейсмического микрозонирования необходима экспериментальная проверка полученных результатов.

Л и т е р а т у р а

1. Джурик В.И., Лещиков Ф.Н., Басов А.Д. Упругие свойства мерзлых грунтов в Прибайкалье. - В кн.: Проблемы строительства на мерзлых грунтах. Чита, 1975, с.48-58.
2. Методические указания по составлению мерзлотного прогноза при инженерно-геологических изысканиях для промышленного и гражданского строительства (в условиях БАМ). М.: МосЦИСМЗ ПО Стройизыскания, 1976. 47 с.
3. Бунэ В.И., Левшин А.Л., Павлов О.А. и др. О применении сейсморазведочных методов при сейсмическом микрорайонировании. - Изв. АН СССР. Физика Земли, 1973, № 9, с.82-88.
4. Павлов О.В., Бунэ В.И., Павленов В.А., Шарапов В.Г. Опыт применения взрывов при сейсмическом микрорайонировании на вечномерзлых грунтах. - Бюл. по инж. сейсмологии (Ереван), 1973, № 8, с.31-37.
5. Порхаев Г.В. Тепловое взаимодействие зданий и сооружений с вечномерзлыми грунтами. М.: Наука, 1970. 208 с.
6. Хрусталева Л.Н. Температурный режим вечномерзлых грунтов на застроенной территории. М.: Наука, 1971. 168 с.
7. Шарапов В.Г. О расчете ожидаемых колебаний грунтов при наиболее опасном землетрясении (на примере ст.Чара, БАМ). - В кн.: Сейсмотектоника и сейсмичность района БАМ. Новосибирск: Наука, 1979, с.117-192.
8. Шарапов В.Г. Сейсмическое микрорайонирование с учетом резонансных и поглощающих свойств грунта (частотно-временной способ сейсмического микрорайонирования). - В кн.: Сейсмическое микрорайонирование. Кишинев: Штиинца, 1979, с.196-202.

УДК 550.343.4+624.131.23

ИНЖЕНЕРНО-СЕЙСМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ КОНУСОВ ВЫНОСА И ИХ ТЕХНОГЕННОЕ ИЗМЕНЕНИЕ О.Г.Гунешли, Г.А.Зимица

Характерное положение у подножий хребтов в зоне крупных региональных или глубинных разломов, гидрогеологические особенности, циклическое строение конусов выноса и особенности инженерно-геологических свойств грунтов определяют инженерно-сейсмические условия конусов выноса. Эти территории удобны для гражданского строительства, благодаря чему вопрос об их инженерно-сейсмических условиях является весьма актуальным.

Конусы выноса наиболее развиты в аридных областях. Важное значение для их образования имеет контрастность рельефа, которая наблюдается при сочленении горных хребтов и равнин. Водный поток, выходя с

гор на равнину, резко замедляет скорость течения, растекается на ряд более мелких потоков, теряя при этом значительную часть, а иногда весь принесенный материал [57]. Однако при более влажном климате тот же материал перерабатывается бы потоком в форме аллювия далеко за пределами предгорий [107].

Авторы изучали инженерно-сейсмические условия конусов выноса пролювиальной равнины, соответствующей Предкопетдагскому краевому прогибу.

Приуроченность конусов выноса к сочленению горных хребтов и равнин предопределяет особенности их положения.

Согласно схеме тектонического районирования Туркмении для альпийского этапа (составили Д.М.Мильштейн, Л.Н.Смирнов) [97], рассматриваемая территория входит в пределы альпийской геосинклинальной области и находится в зоне новейших опусканий с неогена до современного этапа. На фоне общего опускания имеют место локальные поднятия суши.

Полагают, что наиболее сейсмически опасными являются зона сочленения альпийской геосинклинальной области с Каракумской платформой, а также участки пересечения разломов северо-западного направления с разломами запад-северо-западного простирания.

Предкопетдагская равнина, в южной части прилежащая к Копетдагу и его предгорьям, имеет уклоны до 15° , к северу она выполаживается, и уклоны не превышают $3-4^{\circ}$.

Верхняя часть равнины сложена четвертичными отложениями конусов выноса, залегающими на грубообломочных и песчано-глинистых породах кешенымбаирской свиты верхнего плиоцена (N_2^3).

Нижнечетвертичные (p_{I-II}) пролювиальные отложения на дневной поверхности обнажаются только в устьях речных долин, в верховьях конусов выноса [37]. В разрезе ниже-среднечетвертичных пород преобладают гравийно-галечниковые отложения, среди которых иногда отмечаются прослои супесей и суглинков. Мощность этих отложений изменяется от 82 до 116 м, на крыльях конусов выноса сокращаясь до 30-40 м.

Верхнечетвертичные - современные (p_{III-IV}) пролювиальные отложения формируют "молодые", слившиеся друг с другом конусы выноса, сложенные песчано-глинистыми и гравийно-галечниковыми породами и образующие основную часть поверхности предгорной равнины. Их мощность изменяется от 20-30 до 120-130 м [37].

В южной части изученная территория представлена главным образом галечниковым материалом головных частей конусов выноса, перекрытых маломощными (2-5 м) лёссовидными суглинками.

В северном направлении галечники постепенно замещаются супесчано-суглинистыми лёссовидными породами и встречаются лишь в виде линз и отдельных прослоев. Еще далее к северу на уровне галечниковых прос-

3. Васильев В.А. Влияние обводненности лёссовых и глинистых грунтов на их сейсмические свойства (на примере Центрального Предкавказья). - В кн.: Сейсмическое микрорайонирование. Кишинев: Штиинца, 1979, с.134-141.
4. Запороженко Э.В. Суффозионные деформации в лёссовых породах Предкавказья. - В кн.: Вопросы строительства гидротехнических сооружений на просадочных грунтах. Баку, 1969, с.108-115.
5. Кригер Н.И. Состояние вопроса об оценке просадочных свойств лёссовых грунтов: (Обзор). М.: ЦНИИС Госстроя СССР, 1972.
6. Лисицин К.И. О деформациях суглинистых грунтов Предкавказья в связи с вопросом об образовании степных блюдц. Новочеркасск: Сев.-Кавк. геол.-развед. трест, 1932.
7. Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. М.: Наука, 1977. 535 с.
8. Кригер Н.И., Лаврусевич Д.И., Лаврусевич С.И. и др. Сейсмодислокация в Яванской долине в Таджикистане при ноябрьском землетрясении 1972 г. - В кн.: Инженерно-геологическая съемка и сейсмическое районирование. М.: Стройиздат, 1974, с.60-69. (Тр. ЦНИИС; Вып. 30).
9. Сейсмическое районирование территории СССР: (Методические основы и региональное описание карты 1978 г.). М.: Наука, 1980. 307 с.

УДК 550.834

О КОРРЕЛЯЦИОННЫХ СВЯЗЯХ МЕЖДУ СЕЙСМИЧЕСКИМИ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ГРУНТОВ

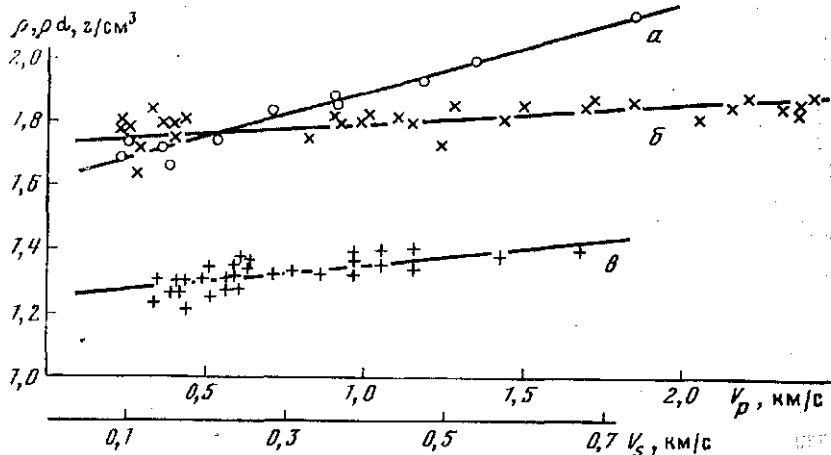
А.В.Герасимов

В статье приводятся некоторые результаты исследования корреляционных связей сейсмических параметров (скорости продольных V_p и поперечных V_s -волн, модуль Юнга, модуль сдвига) с физико-механическими характеристиками некоторых типов грунтов.

Связь физических характеристик с упругими свойствами грунтов

Одним из факторов, влияющих на скорости V_p и V_s в грунтах, является плотность, причем плотность грунта ρ теснее связана со скоростью V_p , а плотность скелета ρ_d грунта - со скоростью V_s , так как последняя не зависит от влажности. Сопоставления ρ с V_p и ρ_d с V_s показывают наличие линейной связи между ними для разных типов грунтов. Например, для талых песков в районе пос.Новый Уренгой (Зап. Сибирь) найдено выражение $\rho = 0,286 V_p + 1,62, \text{г/см}^3$ (рис.1,а).

Для четвертичных и неогеновых глин Гудаутского района проанализирована связь между ρ и V_p по 33 парам значений (рис. 1,б). Урав-

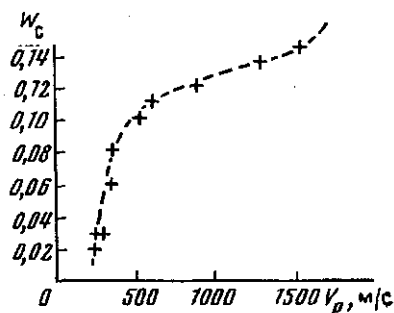


Р и с. 1. Графики зависимости скоростей упругих волн от плотности грунтов

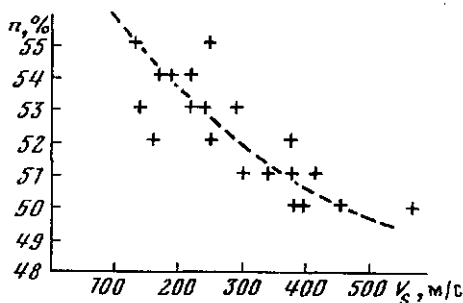
нение регрессии имеет вид $\rho = 0,062 V_p + 1,73$, г/см³ при коэффициенте корреляции $\gamma = 0,92$. Связь между ρ_d и скоростью V_s тех же глин, при предположении линейной корреляции между ними, выражается в виде $\rho_d = 0,026 V_s + 1,25$, $\gamma = 0,7$ (рис. 1, в). В интервале $\rho_d > 1,32$ г/см³ и $V_s > 220$ м/с максимальное различие между ρ_d , по данным объемно-весового метода и по уравнению, составляет менее 5%.

Влажность влияет на величину скорости продольных волн и это влияние особенно заметно для дисперсных отложений, характеризующихся большими значениями пористости, а следовательно, и возможностью большей степени водонасыщения. Нами рассматривалось влияние влажности W_c на V_p для песков. Связь W_c и V_p для песков выражается нелинейной зависимостью. Анализ независимых определений W_c и V_p позволяет выделить две области, в которых характер связи резко различен (рис. 2). В интервале $W_c = 0,02-0,10$ и $V_p = 240-380$ м/с влияние влажности на скорость продольных волн не резко выражено. При суммарной влажности более 0,12-0,13 отмечается резкое возрастание V_p . По-видимому, увлажнение песков до величины максимальной молекулярной влагоемкости не оказывает существенного влияния на скорость распространения продольных волн.

Исследования влияния пористости на упругие свойства пород проводились ранее в лабораторных условиях О.Н.Силаевой, Г.И.Петкевичем, Ф.М.Дяховицким [3]. Они показали на существование тесной связи между пористостью и упругостью и установили линейный характер зависимости. Однако можно было ожидать, что в реальных средах, характеризующихся разнообразными структурно-текстурными особенностями, различной формой



Р и с. 2. Связь V_p с суммарной влажностью для четвертичных песков (пос.Новый Уренгой, Зап. Сибирь)



Р и с. 3. Связь V_s с пористостью для четвертичных и неогеновых глин оползневых накоплений (Черноморское побережье Кавказа)

и характером упаковки частиц, зависимость между упругими свойствами и пористостью будет более сложной. Действительно, анализ поля корреляции между пористостью n и скоростью поперечных волн V_s для глин (четвертичных и неогеновых) показывает, что между n и V_s связь обратно пропорциональная, нелинейная (рис. 3).

То же поле корреляции n и V_s в полулогарифмическом масштабе дает коэффициент линейной корреляции $r = 0,86$, а приближенное уравнение регрессии имеет вид $n = -0,825 \lg V_s + 72,5$.

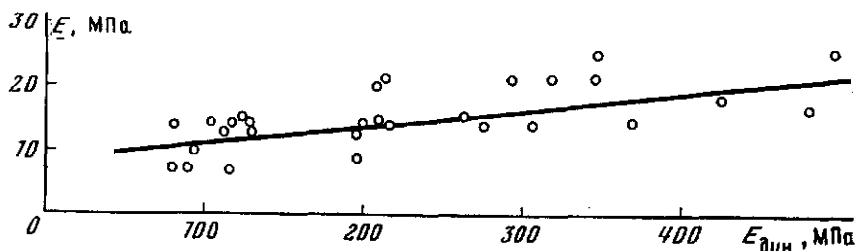
Приведенные результаты показывают, что для изученных типов грунтов возможна экспресс-оценка физических характеристик по данным сейсморазведки.

Связь модуля деформации с модулем Юнга

Знание статического модуля деформации E грунтов имеет большое значение для расчетов оснований зданий и сооружений. Наиболее достоверным методом определения E являются полевые испытания статическими нагрузками с помощью штампов [47]. Метод достаточно трудоемкий, требует проходки специального шурфа (штамп $S = 5000 \text{ см}^2$) и длительного срока испытания. На рабочих площадках выполняются единичные испытания на разных глубинах. Модуль деформации оценивается также по данным статического зондирования и определяется лабораторными методами - в компрессионных приборах или приборах трехосного сжатия.

Определяемый по данным сейсмической разведки модуль Юнга для большинства горных пород существенно отличается от модуля деформации. Если для скальных грунтов это различие невелико (10-20%), то для рыхлых оно может достигать 10 раз и более.

К настоящему времени между динамическим модулем $E_{дин}$ и модулем деформации E выявлен ряд корреляционных связей, имеющих различный



Р и с. 4. Связь между динамическим модулем и модулем деформации (по данным статического зондирования) для глин

вид в зависимости от типа грунта, водонасыщенности, района исследований и способов определения E [17].

Нами проводилось сопоставление $E_{дин}$ с модулем деформации, определяемым по результатам статического зондирования и по данным штамповых испытаний.

По кривым статического зондирования для глин Черноморского побережья Кавказа получены средние значения модуля деформации для различных глубин, применяя эмпирическую формулу $E = 7q$, где q — сопротивление грунта погружению конуса.

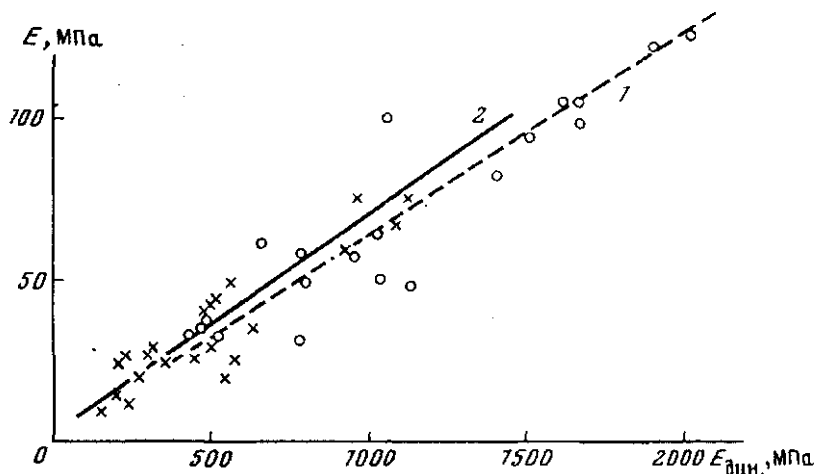
Используя данные полевой сейсморазведки, проведены расчеты динамического модуля деформации вблизи точек статического зондирования. Получена 31 пара независимых определений $E_{дин}$ и E для глин четвертичного и неогенового возраста.

На величину модуля деформации глинистых грунтов в большой степени влияет их влажность. В нашем случае, принимая во внимание сравнительно узкий диапазон влажности (34–40%), этот фактор отдельно не учитывался. На рис. 4 представлено поле корреляции между $E_{дин}$ и E . Распределения точек позволяют предположить наличие линейной связи. Коэффициент корреляции, рассчитанный при этом предположении, составил $r = 0,83$. Коэффициенты уравнения регрессии рассчитывались по методу наименьших квадратов. Уравнение регрессии модуля деформации по модулю Юнга для глин современных оползневых накоплений имеет вид

$$E_{стат} = 0,026 E_{дин} + 8,2 \text{ (МПа)}.$$

Рассмотрен диапазон изменения параметров $7 < E_{стат} < 25 \text{ (МПа)}$ и $80 < E_{дин} < 500 \text{ (МПа)}$.

Различия между $E_{дин}$ и модулем деформации, по данным штамповых испытаний, объясняются в основном условиями их определения. $E_{дин}$ определяется в условиях весьма малых нагрузок циклического сжатия и растяжения под действием упругих волн. Величина этих нагрузок не превышает нескольких Па, а время проявления измеряется сотыми долями се-



Р и с. 5. Связь между динамическим модулем $E_{\text{дин}}$ и модулем деформации по данным штамповых испытаний

1 - дровяно-щебнистые отложения (площадки ОБК); 2 - четвертичные пески (Зап. Сибирь)

кунд. Статистические модули определяются при нагрузках до МПа, а время действия измеряется в часах.

На объектах Южного берега Крыма (ОБК) выполнялись испытания грунтов штампом $S = 5000 \text{ см}^2$ для дровяно-щебнистых грунтов, суглинков с включениями дровя и щебня, известняков и аргиллитов, аргиллитов трещиноватых и выветрелых. По сейсмическим данным имеются массовые определения скоростей V_p и V_s для этих же типов грунтов. На рис. 5 дано обобщенное поле корреляции между $E_{\text{дин}}$ и E по объектам ОБК. Рассматривались независимые парные определения указанных параметров, полученные в одних и тех же точках площадок на одинаковых глубинах.

В диапазоне $33 < E_{\text{шт}} < 134$ (МПа) и $430 < E_{\text{дин}} < 2800$ уравнение регрессии имеет вид: $E_{\text{шт}} = 0,064 E_{\text{дин}} + 1,2$ (МПа). Высокий коэффициент корреляции ($\gamma = 0,93$) свидетельствует о наличии тесной связи в исследованном диапазоне изменения параметров.

Аналогичная зависимость рассмотрена для четвертичных песков Зап. Сибири (район Уренгойского месторождения газа). Получены независимые парные определения E и $E_{\text{дин}}$ для песков рыхлых сухих и слабовлажных (W_c до 5%), песков влажных ($W_c = 8-14\%$).

Поле корреляции между $E_{\text{шт}}$ и $E_{\text{дин}}$ для сухих и влажных песков приводится на рис. 5. Уравнение регрессии имеет вид $E_{\text{шт}} = 0,071 E_{\text{дин}} + 2,5$ (МПа), при коэффициенте корреляции $\gamma = 0,81$ в исследованном диапазоне $10 < E_{\text{шт}} < 60$ (МПа) и $140 < E_{\text{дин}} < 910$ (МПа).

Анализ связи между прочностными характеристиками и динамическим модулем сдвига

Менее всего изучена связь сейсмических характеристик с прочностными показателями. Известна работа И.Г.Минделя [2] по лёссам и просадочным суглинкам. Им установлена тесная корреляционная связь между удельным сцеплением c и упругим модулем сдвига $G_{\text{дин}}$. Для оценки угла внутреннего трения предложены формулы для сапролитовых грунтов Урала [1]. Нахождение таких зависимостей затрудняется, по-видимому, разномасштабностью исследований, так как динамический модуль сдвига определялся по данным наземной сейсморазведки, а сдвиговые характеристики c , φ — по лабораторным данным на образцах грунта.

Нами сопоставлялись сдвиговые характеристики четвертичных глин с динамическим модулем сдвига, рассчитанным по скоростям поперечных волн. Поле корреляции удельного сцепления c и модуля сдвига G дает большой разброс точек. Расчет коэффициента корреляции показал слабую связь между указанными параметрами для данного типа грунта. Связь между сдвигающей нагрузкой τ и динамическим модулем сдвига также не выявлена ($r < 0,5$). Поле корреляции между углом внутреннего трения φ и динамическим модулем сдвига $G_{\text{дин}}$ позволяет предположить наличие линейной связи между ними. Оценка коэффициента корреляции дала значение $r = 0,54$. Уравнение регрессии имеет вид

$$\varphi = 4,25 G_{\text{дин}} \cdot 10^{-3} + 18,8.$$

Большинство выявляемых связей между сейсмическими параметрами и физико-механическими характеристиками грунтов обнаруживается для поперечных волн и рассчитанных по ним параметров. Это объясняется тем, что поперечные (сдвиговые) волны несут гораздо больше информации о структуре и свойствах грунта, чем продольные волны (сжатия), величина которых в значительной мере зависит от содержания в порах воздуха (особенно на малых глубинах) и воды (для грунтов, залегающих ниже УГВ).

Л и т е р а т у р а

1. Рекомендации по применению сейсмической разведки для изучения физико-механических свойств рыхлых грунтов в естественном залегании для строительных целей. М.: Росглавнистройпроект, 1974. 141 с.
2. Миндель И.Г. Изучение физико-механических свойств лёссовых пород сейсмоакустическими методами. - В кн.: Инженерные свойства дисперсных осадочных пород и формирующие их геологические процессы. М.: Стройиздат, 1970, с. 278-298. (Тр. ПНИИМС; Вып. 4).
3. Сейсмическое микрорайонирование/Под ред. С.В.Медведева. М.: Наука, 1977. 248 с.
4. Трофименков В.Г., Воробков Л.Н. Полевые методы исследования строительных свойств грунта. М.: Стройиздат, 1975.

СОПОСТАВЛЕНИЕ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ И СЕЙСМИЧЕСКИХ
СВОЙСТВ ЛЁССА И ЛЁССОВЫХ ГРУНТОВ ЗЕМЛЯНЫХ
ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

Б.А.Гранит

Кафедра инженерной геологии МИСИ им. В.В.Куйбышева в 1980–1982 гг. проводила исследования лёссовых пород и лёссовых насыпных грунтов. Исследования проводились в Дангаринской долине (Таджикистан) в пределах адыров, где из лёссовых пород возводились средненапорная плотина (пос.Саргазон) и 30-метровая насыпь (пос.Аксу).

Субаэральный верхнеплейстоценовый лёсс подстилается на глубине 30–40 м трещиноватыми песчаниками, к которым приурочены грунтовые воды. Незамоченный лёсс характеризуется низкой влажностью (3–10%), высокой пористостью (47–52%), плотностью скелета ρ_d около 1,20–1,37 г/см³ и постепенным увеличением с глубиной числа пластичности $W_{пл}$ от 4–8% до 10–12%, коэффициента относительной просадочности при природном давлении, по данным компрессионных испытаний, от 0,006 до 0,150. Мощность просадочной толщи составляет 25–30 м. Суммарная величина просадки, по данным опытного замачивания котлована, составила 1,85 м.

Свойства насыпных лёссовых грунтов изучались в процессе возведения земляных сооружений. По проекту плотность скелета грунтов, укладываемых в тело сооружения, должна составлять 1,65 г/см³ при средней влажности грунта около 16%. Это достигается послойной (0,3–0,5 м) отсыпкой грунта, его увлажнением до $W \approx 16\%$ и последующей укаткой.

При строительстве по организационным, техническим причинам и климатическим условиям не всегда выдерживались технология отсыпки, увлажнение и уплотнение грунтов, что привело к значительному разбросу значений их физико-механических характеристик в теле сооружения. В нашем случае для оценки отклонения свойств грунтов от заданных проектом строителями осуществлялся послойный инженерно-геологический контроль (ИГК) плотности и влажности грунтов путем отбора проб. На определенных стадиях возведения плотин нами по заданию института "Таджикгипроводхоз" проводилась оценка инженерно-геологических свойств грунтов насыпных лёссовых сооружений с помощью комплекса акустических и сейсморазведочных методов, что позволило быстро, экономично и без остановки строительства провести ИГК свойств грунтов. При проведении таких работ особое значение имеет изучение физико-механических свойств лёссовых пород природной и нарушенной структуры и их связи с сейсмическими характеристиками этих пород.

Известно [1,2,3,4], что главным фактором, определяющим инже-

нерно-геологические и сейсмические особенности лёсса и отсыпанного из него грунта, является влажность.

Обычно зависимость gd от влажности незамоченного лёсса при $W < 12\%$ в природных условиях сравнительно слабо выражена. В насыпных лёссовых грунтах, напротив, зависимость gd от W в теле сооружения выражена хорошо (рис. 1,в). При влажности $W < 12\%$ наблюдается линейная зависимость gd . В интервале W от 12 до 18% наблюдаются максимальные значения gd , а затем с ростом W они уменьшаются. Эта зависимость позволяет установить влажность, при которой насыпной лёссовый грунт при данной технологии можно уплотнить до значений $gd \geq 1,65 \text{ г/см}^3$.

Пористость n незамоченного и замоченного лёсса связана с влажностью по-разному: в незамоченном лёссе ($W < 12\%$) тенденция уменьшения n с увеличением W почти отсутствует, в замоченном лёссе ($W > 12\%$) она выражена лучше (рис. 1,б). В насыпных лёссовых грунтах зависимость n от W ярко выражена (рис. 1,г) и хорошо видны пороговые значения $W \approx 12\%$ и $W \approx 15\%$, при которых с увеличением влажности пористость резко изменяется.

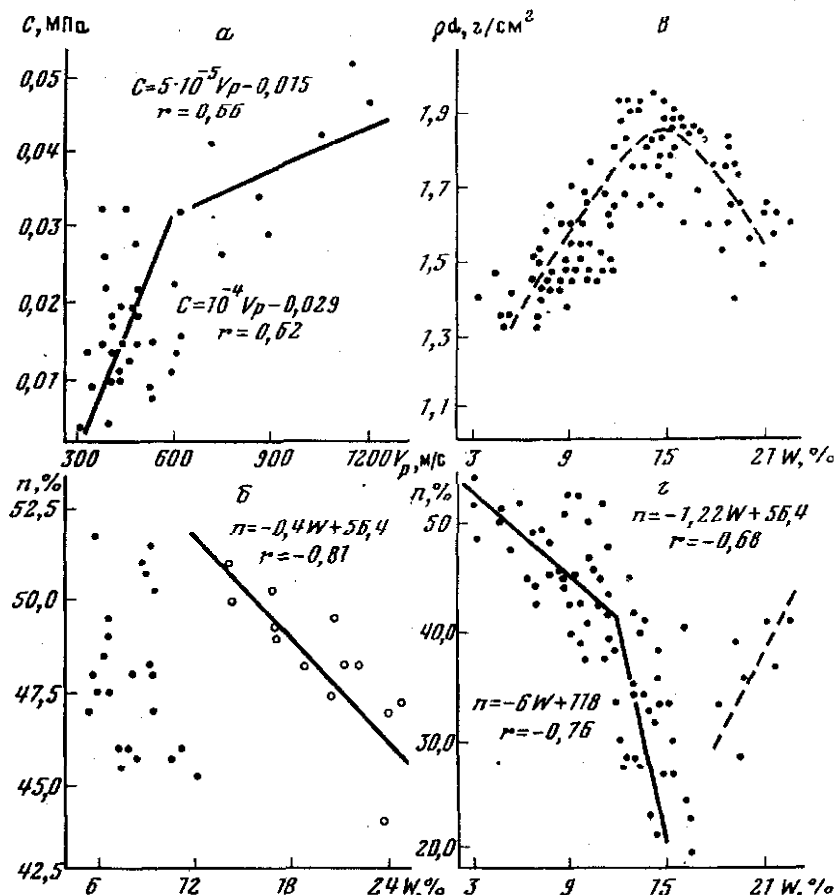
Изменения деформационных и прочностных характеристик лёсса природной и нарушенной структуры также зависят от влажности. Зависимость модуля общей деформации E от влажности для незамоченного лёсса можно описать экспоненциальной функцией, хотя на графике (рис. 2,а) видна точка пороговой влажности около 12%. В насыпных лёссовых грунтах связь E с W слабо выражена, хотя также виден порог $W = 12\%$ (рис. 2,в).

Зависимость сцепления C от влажности лёсса и насыпных лёссовых грунтов при $W < 12\%$ однотипна: с увеличением влажности значение C линейно возрастает, вероятно, за счет капиллярных сил; при $W > 12\%$ значение C у лёсса достаточно резко уменьшается (рис. 2,б), а у насыпных лёссовых грунтов становится незакономерным: наблюдаются как высокие, так и низкие значения величины сцепления (рис. 2,г).

Таким образом, видно, что пороговое значение влажности $W \approx 12\%$ является общим для лёсса и насыпных лёссовых грунтов. Это свидетельствует о том, что оно определяется гранулометрическим и минеральным составом.

Как уже отмечалось выше, для насыпных лёссовых грунтов, помимо влажности, на инженерно-геологические свойства оказывает влияние плотность, которая определяется качеством укладки грунта (укатка, трамбовка, применение вяжущих средств и т.д.).

Анализ связи E и C с gd показывает, что в насыпных лёссовых грунтах максимальные значения E ($> 25 \text{ МПа}$) наблюдаются при $1,6-1,9 \text{ г/см}^3$, что соответствует влажности 12-16%. Сцепление C при

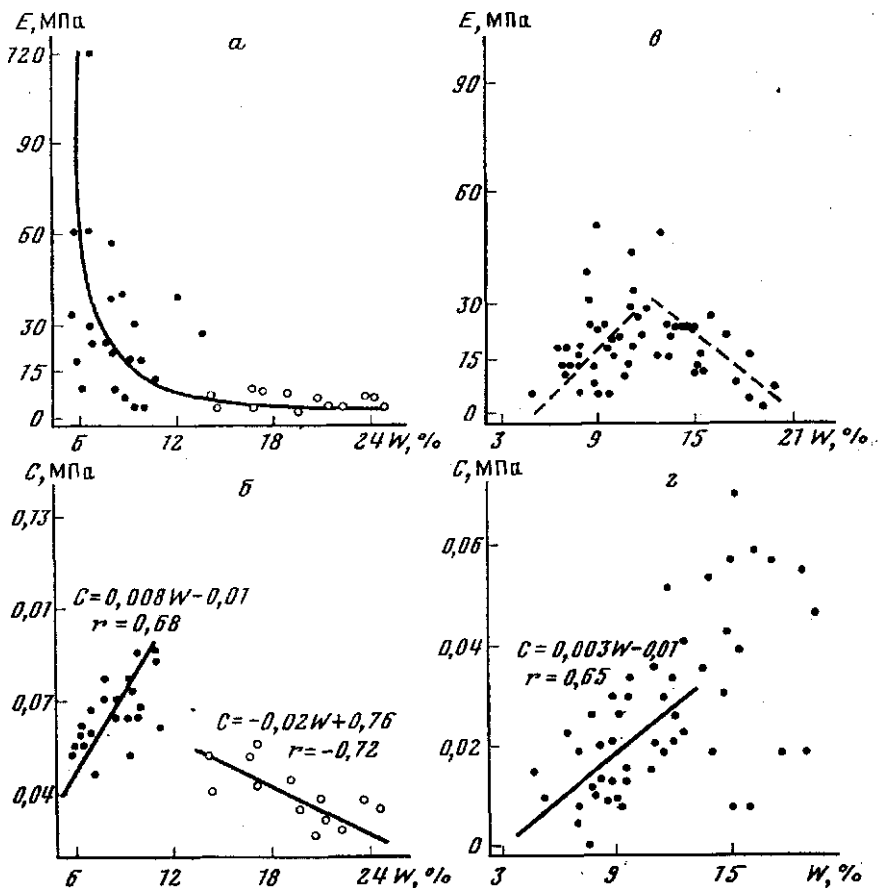


Р и с. 1. Влияние влажности на свойства лёсса (б) и насыпных лёссовых грунтов (а, в, г.). Точки на рис. 1, 2, 3 – образцы лёсса после замачивания котлована

увеличении ρ_d до $1,7 \text{ г/см}^3$ возрастает от $0,01$ до $0,04 \text{ МПа}$, а при $\rho_d > 1,7 \text{ г/см}^3$ наблюдаются и высокие, и низкие значения C , т.е. связь становится неопределенной.

Исследования связи инженерно-геологических и сейсмических свойств лёсса и насыпных лёссовых грунтов выполнялись при помощи ультразвуковых полевых и лабораторных измерений. Использовалась аппаратура УК-10П и МПА-59 в комплекте с 25 кГц датчиками.

Зависимости физико-механических свойств лёсса от скорости продольных волн V_p , полученные при ультразвуковом просвечивании монолитов, отобранных при прохождении шурфов в изучаемых породах, приводятся на рис. 3 и 1,а.

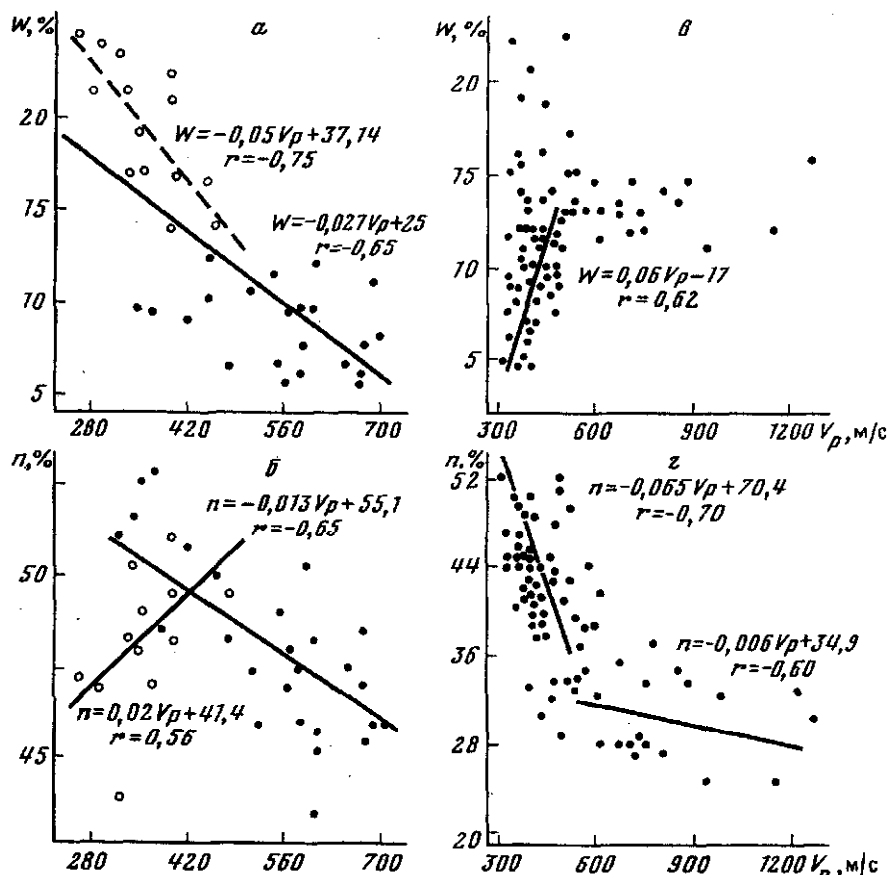


Р и с. 2. Влияние влажности на модуль деформации и сцепление лёсса (а, б) и насыпных лёссовых грунтов (в, г)

Влияние влажности на \bar{v}_p в незамоchenном лёссе, как известно [3,4], мало сказывается при $W < 12\%$. В этом интервале влажности величина \bar{v}_p составляет 400–750 м/с и определяется главным образом ρ_d . С увеличением влажности от 13 до 25–26% (измерения проведены на монолитах из шурфов, пройденных на участке предпостроечного замачивания), \bar{v}_p снижается от 500 м/с до 250 м/с (рис. 3, а). При влажности $> 12\%$ снижение \bar{v}_p определяется увеличением влажности.

В насыпных лёссовых грунтах при $W < 12\%$ скорость \bar{v}_p с ростом W увеличивается от 250 до 500 м/с. При W от 12 до 16% наблюдаются максимальные значения \bar{v}_p , а затем с увеличением W скорость снижается (рис. 3, в).

В незамоchenном лёссе и насыпных лёссовых грунтах с уменьшением



Р и с. 3. Связь физико-механических и сейсмических свойств лёсса (а, б) и насыпных лёссовых грунтов (в, г)

пористости n увеличиваются значения V_p . В замоченном лёссе с уменьшением n значение V_p снижается, что объясняется увеличением W и проявлением расклинивающего действия водных пленок (рис. 3, б). В насыпных лёссовых грунтах с уменьшением n значение V_p увеличивается. На графике этой зависимости (рис. 3, г) есть точка перегиба при $n \approx 36\%$, что соответствует $W \approx 12\%$. Далее при уменьшении пористости происходит более резкое увеличение V_p .

Из приведенных графиков связи W , n и V_p для насыпных лёссовых грунтов становится ясно, что характер этих связей определяется взаимосвязью W и q_d , рассмотренной нами выше (рис. 1, в).

Зависимость модуля общей деформации E от V_p имеет, как и в случае $E = f(W)$ (см. рис. 2, а), экспоненциальный характер, но в данном

случае с увеличением \bar{V}_p E возрастает и выражается формулой $E = 1,3 \cdot 10^{-5} \bar{V}_p^{2,63}$ при $\gamma = 0,75$. Для насыщенных лёссовых грунтов зависимость $E = f(\bar{V}_p)$ носит сложный характер и не аппроксимируется единым уравнением.

При замачивании лёсса величины C и \bar{V}_p снижаются почти в два раза. В насыщенных лёссовых грунтах в интервале \bar{V}_p от 300 до 600 м/с значения C изменяются от 0,005 до 0,030 МПа (см. рис. I, а). График зависимости $C = f(\bar{V}_p)$ имеет точку перегиба, соответствующую $\rho d \approx 1,70 \text{ г/см}^3$ и $W \approx 12\%$. Далее с возрастанием \bar{V}_p до 1200 м/с сцепление увеличивается до 0,05 МПа.

Вышеприведенный анализ свойств изучаемых образований позволяет сделать ряд практических выводов.

1. Влажность лёсса и насыщенных грунтов около 12% является пороговым значением, при котором происходит изменение физико-механических и упругих свойств.

2. Величина порогового значения влажности определяется гранулометрическим и минеральным составом пород. Это подтверждается сохранением одного и того же порогового значения влажности лёсса и насыщенных грунтов на изученных участках.

3. В насыщенных лёссовых грунтах высокие значения ρd могут быть достигнуты при оптимальном интервале влажности грунтов. При возведении плотин из лёсса в Дангаринской долине этот интервал составляет 12–16%. К этому интервалу влажности относятся и наиболее высокие значения E , C .

4. Зависимость упругих свойств насыщенных лёссовых грунтов от W и ρd позволяет использовать комплекс сейсмоакустических методов для ИГК свойств грунтов и прогнозировать изменение этих свойств во времени. Использование геофизических методов значительно ускоряет ИГК, дает большой экономический эффект и позволяет при необходимости оперативно корректировать технологию строительства.

Л и т е р а т у р а

1. Горяинов Н.Н., Дяховицкий Ф.М. Сейсмические методы в инженерной геологии. М.: Недра, 1979. 144 с.
2. Кожевников А.Д. О реакции лёссовых пород на сильные землетрясения. - В кн.: Физические поля и сейсмические свойства горных пород: (Сб. науч. тр.). М.: Стройиздат, 1981, с. 23–30.
3. Кригер Н.И. Влажность и энергетика лёссовых пород. - В кн.: Инженерно-геологические процессы и свойства грунтов: (Сб. науч. тр.). М.: Стройиздат, 1980, с. 3–24.
4. Сейсмические характеристики лёссовых пород в связи с геологическим окружением и техногенезом/Н.И.Кригер, А.С.Алешин, А.Д.Кожевников, И.Г.Миндель. М.: Наука, 1980. 104 с.

6. Макеев З.А. Инженерно-геологическая характеристика майкопских глин. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 267 с.
7. Морозов С.С., Васильева В.И. Изменение физических и механических свойств майкопских глин при их рассолении и засолении. - В кн.: Вопросы инженерной геологии и грунтоведения. М.: Изд-во МГУ, 1973, вып.3, с.448-461.
8. Реутова Н.С., Боцарова И.С., Громова В.М. и др. К вопросу изменения состояния и свойств глинистых пород при гравитационном уплотнении и выветривании (на примере майкопских глин некоторых районов Ставрополя). - В кн.: Формирование инженерно-геологических свойств глинистых грунтов в процессе литогенеза. М.: Изд-во АН СССР, 1963, с.135-175.
9. Сергеев Е.М., Грабовская-Ольшевская Б., Осипов В.И., Соколов В.Н. Типы микроструктур глинистых пород. - Инж. геология, 1979, № 2, с.48-58.
10. Тер-Григорьянц Л.С. Майкопские отложения Центрального Предкавказья (стратиграфия, палеогеография, фораминиферы). Автореф.дис. ... канд. геол.-минерал. наук/ ВНИГТИ. М., 1969. 25 с.

УДК 624.131

**ПРОГНОЗ ИЗМЕНЕНИЯ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
ЛЁССА ПОД ВЛИЯНИЕМ ТЕХНОГЕНЕЗА
(НА ПРИМЕРЕ ОТЛОЖЕНИЙ ВОЛЫНСКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ УССР)
П.К.Волошин**

Известно, что в результате неконтролируемых утечек из подземных инженерных коммуникаций, нарушения естественного стока при рытье котлованов и планировочных работах, "затенения" значительных по площади участков строящимися зданиями и асфальтовыми покрытиями, поливов приусадебных участков и др. наблюдаются нарушение баланса влаги, сложившегося в верхней толще земной коры, и изменения физико-механических свойств пород.

Скорость техногенного повышения влажности пород может во много раз превосходить аналогичный процесс, вызванный природными факторами. Вследствие техногенного увлажнения происходит резкое падение прочности грунтов, что нередко приводит к деформациям сооружений. Степень техногенного преобразования лёссовых толщ во многом определяется климатическими условиями района, составом пород, их плотностью, первоначальной влажностью, напряженным состоянием [2].

В пределах Волынской возвышенности развиты преимущественно верхнеплейстоценовые отложения. Они залегают в виде сплошного покрова мощностью 6-15 м на элементах рельефа различного происхождения со сложным внутренним строением, обусловленным чередованием слоев лёсса

(т.е. межпочвенных лёссовых образований) и ископаемых почв, наличием горизонтов оглеения и других осложняющих элементов.

Каждый из горизонтов несет следы индивидуальности, вследствие чего характер и степень его преобразования под воздействием техногенеза будут различными.

В разрезе выделяются два основных лёссовых горизонта: верхний и нижний, — разделенные дубновской ископаемой почвой (брянская, по А.А.Величко) и подстилаемые гороховским (мезинским) ископаемым почвенным комплексом [17].

Верхний горизонт по морфологическим признакам делится на четыре подгоризонта: верхний, ровенский, нижний и наддубновская солифлюкционная пачка. Последняя ввиду незначительной мощности и спорадического развития в дальнейшем не рассматривается. Лёсс верхнего горизонта характеризуется низкой природной влажностью (10–17%), пластичностью 5–7%, высоким содержанием крупнопылеватых частиц (более 50%) и просадочными свойствами при дополнительном давлении.

Лёсс нижнего горизонта имеет более высокие значения влажности (16–22%), пластичности (6–12%) и плотности (коэффициент пористости ε от 0,6 до 0,8).

Природная влажность пород ископаемых почв изменяется от 17 до 26%, число пластичности для пород дубновской почвы составляет 8–14%, гороховского почвенного комплекса — 7–13%. Наибольшей плотностью характеризуются породы дубновской ископаемой почвы, коэффициент пористости которых на отдельных участках не превышает 0,5–0,6.

Гумусовый генетический горизонт гороховского ископаемого почвенного комплекса преимущественно рыхлого сложения, коэффициент пористости породы составляет 0,7–0,9, в иллювиальном горизонте — 0,6–0,8.

Отмеченные выше особенности строения и свойств лёссовой толщи во многом определяют их поведение под воздействием факторов техногенеза.

Наиболее чувствительным к техногенному воздействию компонентом лёссовых пород является влажность. Величина ее в пределах одного региона зависит в основном от физико-географических условий массива, а распределение по глубине контролируется микростратиграфией.

Характер изменения влажности образцов элементов лёссовой толщи изучался нами при водонасыщении образцов в лабораторных условиях, а также по данным замачивания пород в шурфах (пять опытов) при исследовании их статистическими нагрузками. Полученные результаты показывают, что в изменении влажности при водонасыщении пород наблюдаются определенные закономерности (см. таблицу).

Зависимость величины приращения влажности при водонасыщении показана на рис. 1. Значительное повышение влажности приводит к ослаблению структурных связей, изменению физического состояния породы и,

Изменения влажности грунта при водонасыщении

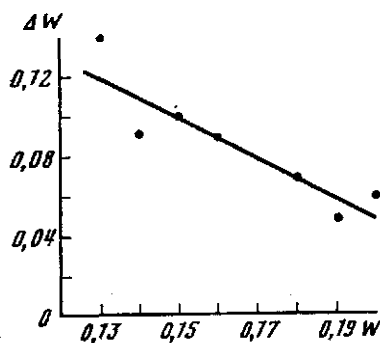
Микростратиграфические элементы лёссовой толщи	Влажность, %	
	Природная	После водонасы- щения
Верхний горизонт		
Верхний подгоризонт	13	27
Ровенский подгоризонт	14	23
Нижний подгоризонт	15	25
Дубновская ископаемая почва	20	26
Нижний горизонт		
Гороховский ископаемый почвенный комплекс		
Гумусовый генетический горизонт	18	25
Иллювиальный генетический горизонт	16	25

следовательно, ее физико-механических свойств [27]. Изменение механических свойств при обводнении заключается в повышении сжимаемости, уменьшении параметров сопротивления сдвигу.

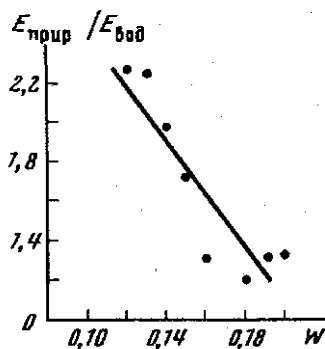
Для характеристики деформационного поведения пород при увлажнении использован показатель литификационного упрочнения, представляющий собой отношение модуля деформации при природной влажности ($E_{\text{прир}}$) к модулю деформации в водонасыщенном состоянии ($E_{\text{вод}}$). Величина этого показателя в большей мере зависит от природной влажности, с увеличением влажности абсолютная величина его снижается (рис. 2). Эмпирическая зависимость показателя $\frac{E_{\text{прир}}}{E_{\text{вод}}}$ от природной влажности

$$\frac{E_{\text{прир}}}{E_{\text{вод}}} = 3,798 - 1,340 W \quad \text{при коэффициенте корреляции } 0,90.$$

Изменение прочности пород в целом, как и отдельных ее составляющих (угла внутреннего трения φ , сцепления C), под воздействием факторов техногенеза имеет сложный характер. Исследования показали, что степень изменения их в пределах отдельных горизонтов неодинакова. При увлажнении лёсса верхнего горизонта наблюдается снижение значений от $27-29^\circ$ до $22-24^\circ$ и сцепления C от 0,03 до 0,01-0,015 МПа. Для ровенского подгоризонта и нижнего горизонта лёсса величина φ уменьшается от $26-27^\circ$ до $22-25^\circ$. В пределах дубновской и гороховской ископаемых почв и нижнего горизонта лёсса значение угла φ снижается всего на $1-2^\circ$ или остается постоянным ($20-24^\circ$), сцепление же уменьшается от 0,04-0,06 до 0,02-0,03 МПа.



Р и с. 1. Зависимость величины приращения влажности при водонасыщении от природной влажности W



Р и с. 2. Зависимость показателя литификационного упрочнения $\frac{E_{\text{попр}}}{E_{\text{вод}}}$ от влажности W

Из полученных данных следует, что степень техногенного преобразования исследованной лёссовой толщи определяется физико-географическими условиями ее существования и особенностями микростратиграфического строения.

Наиболее существенные изменения претерпевают породы, имеющие наибольшее сходство с типичным лёссом. В значительно меньшей степени изменяются частично деградированные лёссовые образования и породы ископаемых почв.

Л и т е р а т у р а

1. Опорные разрезы и краевые образования материковых оледенений западной части Украины: Путеводитель к VI Всесоюзному совещанию по изучению краевых образований материковых оледенений / А.В. Богущий, А.А. Величко, Т.Д. Морозова и др. Киев: Изд-во АН УССР, 1980.
2. Шехтман Л.М., Горловский В.Л., Дудлер И.В. Изменение физико-механических свойств грунтов при обводнении площадок тепловых электростанций. - В кн.: Инженерные изыскания в строительстве: Защита застроенных территорий от подтопления. Киев: Будивельник, 1972, с.35-39.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОЗМОЖНОЙ ПРОСАДКИ КОМБИНИРОВАННОГО
ЛЁССОВОГО ОСНОВАНИЯ

А.В.Колманов

В одинаковых условиях величина возможной просадки $S_{\text{возм}}^{\text{лессовых}}$ грунтов зависит от объема поступающей в грунт воды, размера замачиваемой площади, продолжительности и периодичности процесса инфильтрации, дренированности территории. Просадка усложняется при наличии в пределах замачиваемой площади грунтов с различными фильтрационными свойствами. Именно такие случаи являются наиболее распространенными, поскольку сегодня практически все сооружения промышленно-гражданского и мелиоративного назначения возводятся на уплотненных (закрепленных) тем или иным способом основаниях.

Назовем смешанными такие условия инфильтрации, когда часть воды поступает в грунт через уплотненный (закрепленный) массив, а другая — в результате его обтекания фильтрующимися водами. Основание под сооружением с такими условиями увлажнения будем называть "комбинированным основанием". Изложенные ниже графоаналитические построения позволяют уже на начальных стадиях проектирования учитывать предельно допустимые осадки сооружения в случае двустороннего обтекания основания фильтрующимися водами.

Суть предлагаемого метода состоит в том, что "комбинированное основание" рассматривается как источник инфильтрации прямоугольной или иной формы (например, канал, размещенный в пределах уплотненного массива принятой площади и глубины). В пределе, при уменьшении площади участка уплотнения грунта до нуля, источники инфильтрации обращаются в обычные, для которых ранее установлены виды кривых, просадки поверхности и зависимости для определения таких размеров водоисточников B^I и B^{II} , которым соответствуют минимум и максимум возможной просадки [2,3].

При достаточно большом распространении уплотненной зоны в стороны условия инфильтрации отвечают уже двухслойной среде, а количество поступающей в грунт воды определяется исключительно фильтрационной способностью уплотненных грунтов. Несомненно, имеющиеся методы расчета позволяют запроектировать противофильтрационный экран таким образом, что влажность лёссовых грунтов по глубине просадочного массива не будет выше начальной просадочной, а деформации будут представлены осадками [5]. Как показал анализ более чем трехсот компрессионных испытаний образцов сильнопросадочных лёссовых грунтов, возможная деформация за счет проявления осадки не превышает 15–20% максимальной просадки. В настоящее время не имеется достаточного количества опытных данных, которые позволяют установить зависимость возможной величины осадки поверхности просадочного массива от раз-

мера и формы замачиваемой площади при инфильтрации через двухслойную среду. Однако, по имеющимся сведениям [4,5], можно принять значения размеров водоисточников B^I и B^{II} и вид кривых осадки поверхности, аналогичными тем, что имеют место при источниках инфильтрации на целинном грунте.

Графики зависимостей величины возможной просадки от размера (ширины) водоисточника в форме котлована показаны на правой части рисунка. По общей для обеих частей графика оси ординат отложены значения коэффициента проявления просадки $K = S_{pw}^{возм} / S_{pw}^{макс}$, а по оси абсцисс: вправо – общий (полный) размер водоисточника, для которого определяется возможная просадка; влево – величины отношений площади впитывания в целинный грунт к общей (полной) площади водоисточника

$F_{цел}/F_{общ}$. Прямая I-II определяет изменение значений коэффициента K для котлована, целиком расположенного на целинном грунте, прямая I-III отвечает изменению того же коэффициента в случае двухслойного основания. Очевидно, что условия увлажнения и проявления просадок целинных грунтов в случае, когда лишь часть замачиваемой площади занята участком уплотнения, могут быть представлены как некоторые промежуточные условия между указанными выше. Вследствие этого площадь, заключенная между прямыми I-II и I-III, представляет собой область возможного изменения коэффициента K для котлованов произвольной ширины с любым соотношением площадей целинного $F_{цел}$ и уплотненного $F_{упл}$ грунтов.

Геометрическим местом точек, определяющих значения коэффициента K для источника инфильтрации заданной ширины, служат отрезки вертикальных прямых, заключенные между прямыми I-II и I-III. Чтобы показать это, развернем описываемую область в левой части графика. Для этого снесем на вертикаль C-d с абсциссой, равной единице, точку II, отвечающую максимальному значению коэффициента K при размещении источника инфильтрации на целинном грунте, а на ось ординат (с абсциссой, равной нулю) снесем точку III – максимальное значение того же коэффициента при размещении водоисточника целиком на уплотненном (закрепленном) грунте. Прямая, соединяющая полученные точки II^a и III^a, будет являться графиком изменения коэффициента проявления просадки K для котлована шириной B^{II} в зависимости от величины отношения $F_{цел}/F_{общ}$.

В данном случае возможность применения принципа линейной аппроксимации искомой функции определяется тем, что, как показывают выполненные исследования [1], при одних и тех же общих размерах замачиваемых площадей величина $S_{pw}^{возм}$ прямо пропорциональна среднему показателю фильтрационных потерь, который при стабилизированных сработках уровня воды по целинному $h_{цел}$ и уплотненному $h_{упл}$ грунтам является линейной функцией соотношения их площадей.

Аналогичным образом может быть получен график функции $K = f(F_{цел}/F_{общ})$ для любой произвольной ширины источника фильтрационных потерь.

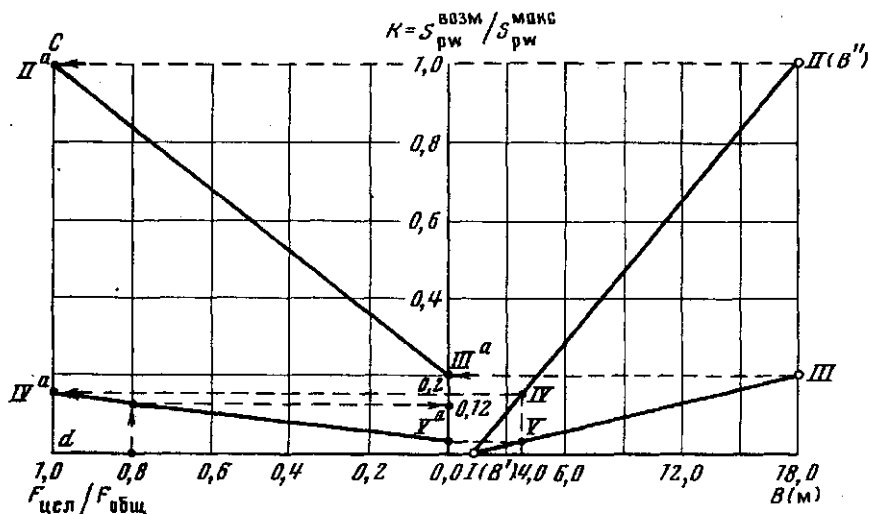


График для определения коэффициента проявления возможной просадки K комбинированного основания

Графоаналитические построения для условий двухстороннего обтекания уплотненного массива фильтрационными водами незначительно отличаются от рассмотренных выше. Так, при замачивании просадочного массива из каналов [2,37] в правой части графика меняется вид кривых просадки поверхности и величин B^I и B^{II} , которым соответствует ее минимальное и максимальное проявление. Значения коэффициентов проявления просадки K , отвечающие каналам в целинных грунтах, следует сносить на ось ординат, а для целиком экранированных каналов — в левую часть графика на вертикаль $C-d$. Эта вертикаль должна, очевидно, отстоять от оси ординат на величину L , равную удвоенной ширине зоны бокового растекания фильтрующей воды в грунтах данного вида $L = 2B_p$, так как только в этом случае достигается полное разобщение фильтрационных потоков из примыкающих к экранированному участку каналов в целинных грунтах.

Рассмотрим теперь порядок использования графоаналитических построений для определения оптимальной площади участка из уплотненных грунтов в случае его всестороннего замачивания при следующих исходных данных. Размер фундаментальной плиты опоры лотка $1,5 \times 2$ м; величина предельно допустимой деформации опоры лотка $S^{пр} = 5$ см; величина максимальной просадки $S_{р\text{в}}^{макс} = 70$ см; среднесуточные потери воды на фильтрацию $Q = 2,5$ м³/сут; удельные показатели впитывания по целинному и уплотненному грунтам составляет: $h_{цел} = 0,17$ м³/м² в сут, $h_{упц} = 0,05$ м³/м² в сут, величина слоя испарения с водной поверхности $h_{ис} = 0,005$ м.

1. В первом приближении примем площадь и форму участка уплотнения грунта соответствующими плановым очертаниям фундаментной плиты, а форму общей замачиваемой площади квадратной.

2. Определяем общую площадь и ширину источника увлажнения основания по формулам:

$$F_{\text{общ}} = \frac{Q + F_{\text{упл}}(h_{\text{цел}} - h_{\text{упл}})}{h_{\text{цел}} + h_{\text{ис}}} = \frac{2,5 + 3(0,17 - 0,05)}{0,17 + 0,005} \approx 16,4 \text{ м}^2;$$

$$B_{\text{общ}} = \sqrt{F_{\text{общ}}} \approx 4 \text{ м.}$$

3. Находим величину отношения

$$\frac{F_{\text{цел}}}{F_{\text{общ}}} = \frac{F_{\text{общ}} - F_{\text{упл}}}{F_{\text{общ}}} = \frac{16,4 - 3}{16,4} \approx 0,8.$$

4. На правой части графика проводим вертикаль с абсциссой, равной величине $B = 4 \text{ м}$.

5. Точки IV, V пересечения проведенной вертикали с прямыми I-II, I-III сносим в левую часть графика соответственно на вертикаль $C-d$ с абсциссой $F_{\text{цел}}/F_{\text{общ}} = I$ и на ось ординат.

6. Соединяем точки IV^a и V^a прямой, определяющей зависимость $K = f(F_{\text{цел}}/F_{\text{общ}})$, при полученной величине $B = 4 \text{ м}$.

7. В левой части графика проводим вертикаль с абсциссой, равной величине вычисленного соотношения $F_{\text{цел}}/F_{\text{общ}} = 0,8$. Ордината точки пересечения этой вертикали с наклонной прямой IV^a-V^a равна 0,12 и определяет численное значение коэффициента K .

8. Тогда величина возможной просадки комбинированного основания находится по формуле

$$S_{\text{рв}}^{\text{возм}} = S_{\text{рв}}^{\text{макс}} \cdot K = 70 \cdot 0,12 = 8,4 \text{ см,}$$

откуда

$$S_{\text{рв}}^{\text{возм}} > S_{\text{рв}}^{\text{пр}}$$

Если возможные деформации комбинированного основания оказываются больше допустимых, расчет по данной схеме повторяют при большей площади уплотненной зоны. Снижение возможных деформаций при этом достигается за счет уменьшения степени водонасыщения грунта в увлажненной зоне, поскольку растет общая площадь водонесточника, а следовательно, и объем фигуры смачивания, в то время как количество воды, расходуемое на водонасыщение целинного грунта, несколько уменьшается, то есть увеличиваются поверхности зеркала воды и подземного контура, с которых, как известно, происходит испарение.

Л и т е р а т у р а

1. Колманов А.В. К вопросу об использовании частичной прорезки просадочной толщи уплотненных грунтов при подготовке оснований оросительных систем на просадочных грунтах. - Тр. Росгипроводхоза, 1980, вып.6, с.218-227.
2. Колманов А.В., Сокольский Б.И. Графоаналитический метод оценки условий мелиоративного строительства на лёссовых просадочных грунтах. М., 1975, с.3-10. (Экспресс-информация/ЦЕНТИ ММВХ СССР. Сер.9, вып.2).
3. Мочалов И.П., Колманов А.В. Графоаналитический метод определения просадки основания под элементами оросительной сети. - Гидротехника и мелиорация, 1977, № 2, с.31-35.
4. Одинцова Н.П. Динамика влажности в уплотненной подушке и в подстилающем ее грунте. - В кн.: Орошение, вопросы почвоведения и грунтоведения. - Тр. ВНИИГМ, 1972, вып. 51, с. 128-133.
5. Сызранов А.С. Исследование экранов из уплотненных лёссовых грунтов в основаниях гидротехнических сооружений ирригационных систем. Автореф. дис. ... канд. техн. наук /ЛПИ им. М.И. Калинина. Л., 1982, с.14-16.

УДК 550.343.4

УТОЧНЕНИЕ ИСХОДНОГО СЕЙСМИЧЕСКОГО БАЛЛА ПРИ СЕЙСМИЧЕСКОМ МИКРОРАЙОНИРОВАНИИ г. КИСЛОВОДСКА Б.А.Матушкин

Задача по уточнению исходного сейсмического балла при сейсмическом микрорайонировании Кисловодска состояла в решении вопроса: какой силы и как часто будут происходить землетрясения. Для ее решения выполнялись следующие работы.

1. Уточнялось структурно-тектоническое положение территории города. Для этого использовались литературные геолого-геофизические материалы и проводились полевые маршрутные исследования.

2. По литературным, сейсмологическим и геолого-геофизическим данным оценивалась общая сейсмичность территории исследования, были выделены очаговые зоны, зоны наиболее вероятного возникновения очагов землетрясений (ВОЗ).

3. По имеющимся сейсмологическим литературным материалам проведены расчеты исходного сейсмического балла для территории города. Кисловодск расположен в Центральной части Большого района Кавказских Минеральных Вод (КМВ) (см. рисунок), занимающего обширную территорию юго-запада Ставропольского края и северо-западную часть Кабардино-Балкарской АССР, около 150 x 150 км. К Центральной части Большого района

КМВ относится исследуемая площадь на междуречье Кумы и Малки размером около 50х60 км. С З и В эта площадь ограничена Эльбрусским и Лысогорским глубинными разломами.

Изучаемый район (Центральная часть Большого района КМВ) входит в состав Центрального Предкавказья, которое в геологическом отношении представлено областями палеозойской и альпийской складчатости и краевого Терско-Каспийского прогиба (см. рисунок). Сеймотектоника упомянутых областей описана в работе [2], где отмечается связь землетрясений с крупными тектоническими структурами – Ставропольским сводом, северным склоном Большого Кавказа, Терско-Каспийским прогибом, крупными разломами земной коры. При сейсмическом районировании территории СССР изучаемый район отнесен к 7-балльной зоне.

Как известно, связь геологии и сейсмичности устанавливается весьма предположительно. В литературе упоминаются самые различные геологические и геофизические критерии сейсмичности. Большинство авторов указывает на связь землетрясений с разломами. Обычно это объясняется приуроченностью эпицентров землетрясений к разрывным нарушениям при сопоставлении карт эпицентров землетрясений и тектонических карт. Нам представляется такое определение связи землетрясений с разломами в большинстве случаев недостаточно убедительным.

Уточнение тектонического положения изучаемого района проводилось с целью выделения зон ВОО с последующим определением максимального возможного землетрясения и повторяемости землетрясений в районе Кисловодска. Структурное положение района уточнялось в соответствии с концепцией Г.Х. Дикенштейна по тектонике юга СССР. Мы проанализировали имеющийся материал по Центральному Предкавказью и предложили интерпретацию геолого-геофизических данных, в основу которой положены представления о блоково-разрывном строении земной коры. Были выделены глубинные разломы граничные и внутриблоковые (см. рисунок). Граничные глубинные разломы ограничивают блоки 1-го порядка – крупные (десятки км в поперечнике) обособленные более или менее однородные по геологическому строению структуры земной коры; эти блоки совпадают с крупными тектоническими структурами, впадинами, поднятиями. Внутриблоковые разломы разделяют блоки 2-го порядка.

Блоково-разрывная структура земной коры изучается геолого-геофизическими методами. Блоки и разрывы выделяются по данным региональных геофизических (магнитных, гравиметрических съемок, сейсморазведочных, сейсмологических данных) исследований.

При изучении строения земной коры геофизическими методами отмечается определенное различие в строении, составе пород блоков, мощности слоев, слагающих блоки, форме рельефа основных границ раздела, в наличии разрывов пород и т.д. Все эти факторы являются признаками

ся лишь единичные очаги. Практически весь Центральный блок является отдельной сейсмоактивной структурой.

Предлагается весь Центральный блок рассматривать как единую зону В03, то есть на любом участке этого блока может произойти землетрясение с максимальной магнитудой, определяемой для данной зоны (см. рисунок). Отметим, что Центральный блок существенно отличается своим поднятым положением поверхности фундамента относительно Западного Предкавказского блока на севере и Нальчикского блока на востоке. Ранее нами было отмечено на примере Северного Тянь-Шаня, что приподнятые блоки земной коры сейсмических областей более сейсмоактивны по сравнению с опущенными.

Все выделенные зоны В03 были учтены при расчете исходного сейсмического балла для территории Кисловодска. При расчетах за максимально возможные землетрясения в указанных зонах были приняты максимальные наблюдаемые землетрясения в них, что согласуется с расчетами, проведенными для этих зон ранее.

Для каждой зоны рассчитывалась повторяемость возможных сильных землетрясений. При этом использовалась теория экспериментальных значений Гумбеля [7].

Расчеты показали, что очаги выделенных зон В03, кроме Центральной зоны, на территории Кисловодска не могут вызвать сотрясений силой более 6 баллов. Рассчитанное максимально возможное землетрясение для территории Кисловодска, 7 баллов, определяется очагами Центральной зоны В03.

Повторяемость 7-балльных землетрясений для Кисловодска один раз в 200 лет, 6-балльных - один раз в 17 лет, 5-балльных - один раз в 7 лет. Все расчеты интенсивности землетрясений отнесены к средним грунтовым условиям.

Л и т е р а т у р а

1. Гумбель Э. Статистика экстремальных значений. М.: Мир, 1965. 452 с.
2. Сейсмическое районирование территории СССР: (Методические основы и региональное описание карты 1978 г.). М.: Наука, 1980, с. 120-123.

УДК 550.34.042.4

ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ СОТЯСЕНИЙ ДЛЯ ИНЖЕНЕРНЫХ ЦЕЛЕЙ

О.Я.Малевская

Чтобы охарактеризовать строительную площадку с точки зрения возможного сейсмического воздействия и его динамики с учетом вероятных перегрузок предлагается следующий порядок действий. Выделяются зоны

возможных очагов сильных землетрясений. Для каждой из выделенных очаговых зон составляется список произошедших в ней сильных землетрясений с указанием даты, магнитуды, глубины очага, балльности в эпицентре, периода наблюдений T_H , минимальной представительной магнитуды M_{min} , количества N сильных землетрясений (с $M \geq M_{min}$) и средний период повторяемости сильных землетрясений в год $\Delta t = \frac{T_H}{N}$.

По распределению экстремальных значений Э.Гумбеля [17] по формуле

$$F(M_j) = e^{-e^{-d[(M_j - M_{min}) - q]}}$$

рассчитывается вероятность $F(M_j)$ превышения величины магнитуды M_j в каждой зоне I , а следовательно, и период повторяемости T_j землетрясений данной магнитуды M_j в зоне, $T_j = \frac{\Delta t}{1 - F(M_j)}$.

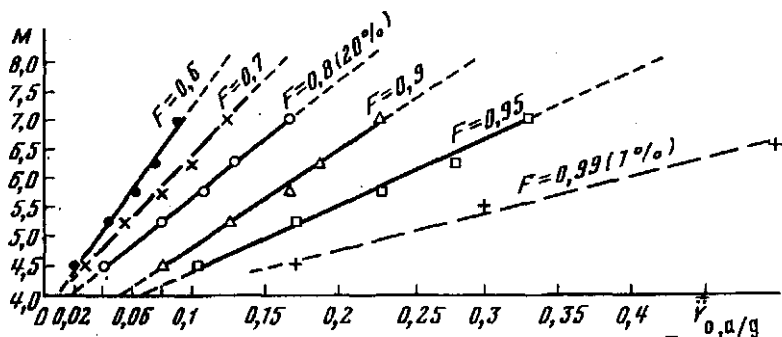
По полученным d и q для каждой зоны могут быть составлены таблицы расчетных магнитуд M , для периодов повторяемости T_j , равных, например, 200, 100, 50 и т.д. годам. Величины магнитуд, отвечающие периодам повторяемости в ≈ 200 лет, могут быть приняты в качестве максимальных для каждой данной зоны с высокой степенью обеспечения $F(M_{T200}) \approx 0,94-0,99$.

После выделения сейсмоопасных очаговых зон и определения величин возможных в них магнитуд землетрясений можно получить экспериментально (статистически) обоснованную величину y_0 , а среднеквадратичных значений ускорений колебаний грунта в эпицентре для каждой из расчетных магнитуд зоны.

Для этого предлагается воспользоваться диаграммой, показанной на рис. 1. На основании этой диаграммы, предварительно выбрав уровень обеспеченности F , т.е. соответствующий график (например, $F = 0,8$ или $0,9$), для требуемого значения магнитуды определяется расчетное значение ожидаемого уровня воздействия y_0 , эпп в эпицентре.

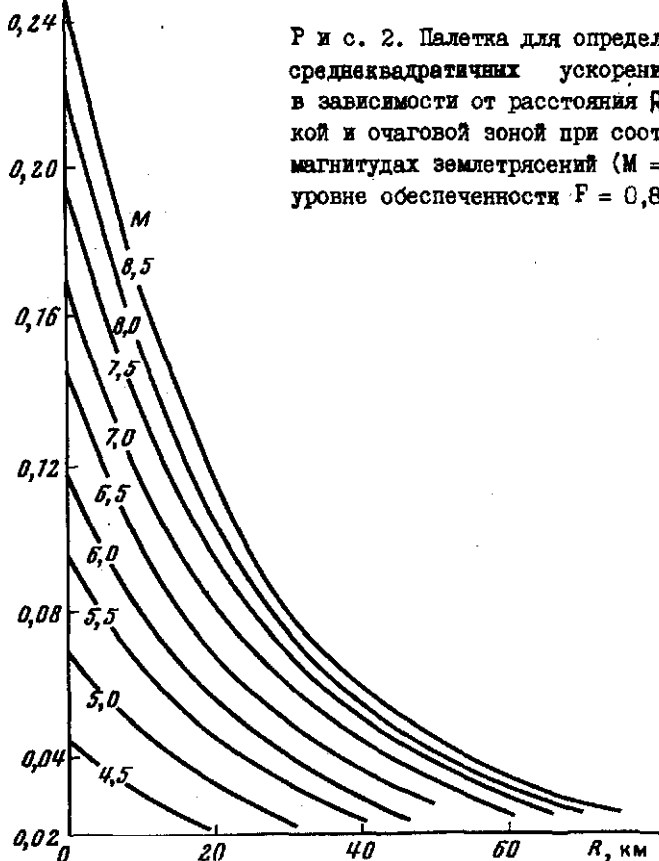
Диаграмма получена путем перестроения интегральных кривых распределения максимальных ускорений, выполненного на основе данных, опубликованных в работе [27] (рис. 3, а, с. 47). Эти данные получены на основе анализа приблизительно 250 акселерограмм, зарегистрированных в эпи-

I d и q - константы, зависящие от величин магнитуд землетрясений, произошедших в зоне, количества землетрясений с разными магнитудами и дисперсией распределения магнитуд. Обозначим $d[(M_j - M_{min}) - q]$ через y_m , а $(M_j - M_{min})$ через z_m , где m - число землетрясений с магнитудой, меньшей и равной M_j , тогда $y_m = -\ln[-\ln m/(N+1)]$, т.к. $F(M_j) = m/(N+1)$ и $y_m = d(z_m - q)$, следовательно, $z_m = \frac{q - \ln[-\ln m/(N+1)]/d}{1}$, где $d = \delta/S$ и $q = \bar{z}_m - y_m/d$; $\bar{z}_m = (\sum z_m)/N$ и $y_m = (\sum y_m)/N$; $S = \sqrt{(\sum z_m^2 - \bar{z}_m \sum z_m)/N}$ и $\delta = \sqrt{(\sum y_m^2 - y_m \sum y_m)/N}$.



Р и с. 1. Распределение среднеквадратичных ускорений $\bar{y}_{0,a}$ в эпицентре для землетрясений соответствующих магнитуд M . Рисунок получен в [3] перестроением рис. из [2]

$\bar{y}_{0,a}, g$ $F=0,8$



Р и с. 2. Палетка для определения величины среднеквадратичных ускорений (в долях g) в зависимости от расстояния R между площадкой и очаговой зоной при соответствующих магнитудах землетрясений ($M = 4,5 - 8,5$) и уровне обеспеченности $F = 0,8$

центральных зонах ~ 130 сильных землетрясений мира с очагами в пределах земной коры на территории США, Центральной и Южной Америки, Аляски, Новой Зеландии, Новой Гвинее, южной Европы и СССР.

Для построения диаграммы данные о магнитудах кривых распределения перегруппированы по одинаковой вероятности F непревыхождения, соответствующей величине ускорения. Величины максимальных ускорений изменены на среднеквадратичные ($y = \frac{y_{max}}{2,4}$) путем деления на коэффициент 2,4, получившийся в результате осреднения 23 отношений максимальных ускорений к среднеквадратичным [37].

Теперь, когда известны значения возможных среднеквадратичных ускорений $y_{0,эпц}$ в эпицентре, т.е. в каждой очаговой зоне, при рассматриваемой магнитуде землетрясения и выбранном уровне обеспечения можно определить уровень воздействия на площадке $y_{0,л}$ от каждой из этих зон. Для этого воспользуемся законом изменения уровня воздействия с расстоянием [47]:

$$y_{0,л} = y_{0,эпц} \exp - (0,04 - 0,00013 R) R, \quad (1)$$

где расстояние R между площадкой и очаговой зоной в км для расчета принимается наименьшим (рис.2).

Если задаться определенными уровнями среднеквадратичного ускорения $y_{0,а}$, например, уровнями характеризующими нижнюю границу 10, 9, 8 и 7 баллов, а именно: в 0,2; 0,1; 0,05 и 0,025 g (см. табл. 3 из [37]), то по формуле (1) можно определить расстояния (от границы зоны), на которых сохраняются указанные уровни воздействия. Тогда области, расположенные между соседними границами, можно рассматривать как зоны, отвечающие 7, 8 и т.д. баллам.

Для определения приближенных радиусов эпицентральных зон, в которых, по предположению, сохраняется максимальный уровень воздействия, авторы работы [27] предлагают воспользоваться следующими соотношениями M_j и R :

M_j	< 5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0
R , км	10	15	20	30	50	70	100

Располагая данными о возможных уровнях воздействия в очаговых зонах и на определенных расстояниях от них, можно рассчитать вероятность превышения уровня воздействия на площадке $F(y_{0,а})$ как сумму вероятностей уровня от всех очаговых зон. Вероятность же превышения данного уровня на площадке от одной очаговой зоны рассчитывается как произведение вероятности непревыхождения, вызвавшей этот уровень воздействия магнитуды, на выбранный заранее уровень обеспеченности. При этом учитывается отношение площади, занятой рассматриваемым уровнем воздействия, к площади всей очаговой зоны, полагая возникновение землетрясений равновероятным по всей площади очаговой зоны.

Вероятность непревышения (превышения) соответствующего уровня
воздействия за 50 лет на объекте г.Исфара

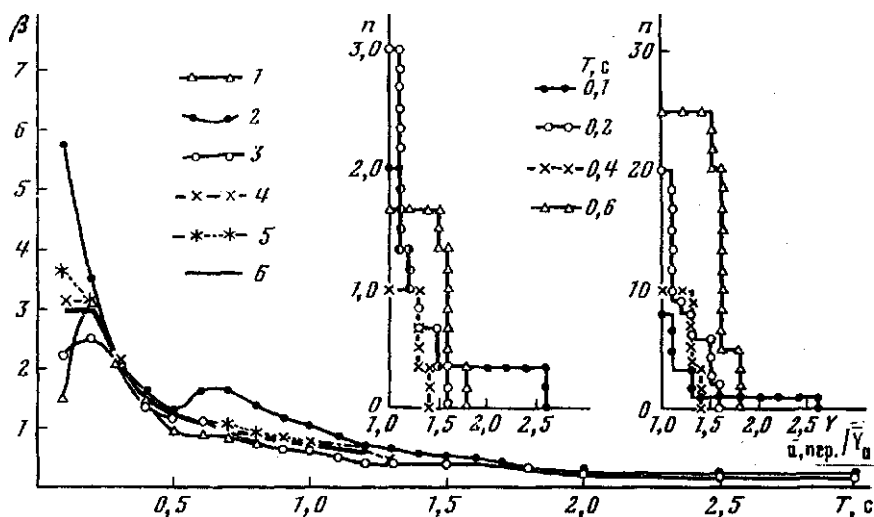
Вероят- ность	M _j	T _j	Величины уровней воздействия						
			0,1g	0,05g	0,025g	0,2g	0,1g	0,05g	0,025g
			Г = 0,8			Г = 0,9			
Превы- шения	6,8-7,0	200 лет	0,029	0,040	0,062	0,010	0,020	0,030	0,040
Непре- вышения			0,971	0,960	0,938	0,990	0,980	0,970	0,960
Превы- шения	5,5	25 лет	0,032	0,136	0,456	-	0,054	0,496	0,776
Непре- вышения			0,968	0,864	0,544	-	0,946	0,504	0,224

Для примера результаты расчета вероятности непревышения соответствующего уровня ускорения за 50 лет на объекте г.Исфара приведены в таблице. Максимального воздействия в Исфара-Баткенском р-не можно ожидать приблизительно 1 раз в 200 лет, а землетрясения с магнитудой $M \approx 4-5$ происходят здесь довольно часто (в среднем по 2 раза за 50 лет). Поэтому вероятность непревышения одного и того же уровня в 0,025g (6 баллов) при одном и том же уровне обеспеченности $F = 0,8$ для больших магнитуд равна 0,938, а для малых - 0,544 (см. таблицу).

Все вышеизложенное касалось статической части задачи оценки сейсмической опасности уровнем возможных ускорений с его вероятностью.

Переходя к динамической части задачи, т.е. к оценке динамической кривой β с графиком перегрузок, необходимо опять обратиться к уже построенной карте очаговых зон сильных землетрясений и к уже проведенному расчету возможных магнитуд каждой опасной зоны. В результате мы будем иметь по две цифры, характеризующие каждую очаговую зону: максимально возможную магнитуду M и кратчайшее расстояние от края до площади строительства R .

Далее из всех имеющихся на сегодняшний день акселерограмм землетрясений с магнитудами и эпицентрными расстояниями, соответствующими каждой очаговой зоне, формируем группы. Обработку каждой полученной группы акселерограмм проводим методикой, изложенной в работе [5, с.136-138]. В результате обработки получаем для каждой очаговой зоны предлагаемую кривую β , характеризующую динамику возможного воздействия на площадке от данной очаговой зоны, находящейся на опре-



Р и с. 3. Пример предлагаемой динамической кривой β для $M = 4,5$ с графиками перегрузок

Динамическая кривая для акселерограммы землетрясения 1 - в Броули (США) 25.I.75 г.; 2 - в Ташкенте 4.II.66 г.; 3 - в Ташкенте 29.VI.66 г.; 4 - то же, среднеарифметическое; 5 - то же, среднеквадратичное; 6 - то же, предлагаемая

деленном расстоянии от площадки строительства, и график возможных ее перегрузок (рис. 3).

Динамическая кривая β , полученная таким образом, учитывает только магнитуду возможного очага и расстояние до него. Остальные же многочисленные факторы, влияющие на динамическую кривую, такие, как механизм и местные условия конкретного очага, среда распространения, местные грунтовые и рельефные условия площадки строительства и т.д., учитываются сопровождающим каждую динамическую кривую β графиком возможных перегрузок.

Л и т е р а т у р а

1. Гумбель Э. Статистика экстремальных значений /Пер. с англ. М.: Мир, 1965. 452 с.
2. Иванова Т.Г., Пономарева О.Н., Штейнберг В.В. Ускорения колебаний грунта при землетрясениях. - В кн.: Оценка сейсмической опасности. М.: Наука, 1983, с.39-51. (Вопр. инж. сейсмология; Вып. 24).
3. Малевская О.Я. Величины среднеквадратичных ускорений грунта при землетрясении в Империял Велики (США). - В кн.: Оценка сейсмической опасности. М.: Наука, 1983, с.73-79. (Вопр. инж. сейсмология; Вып. 24).

4. Малевская О.Я. Энергетические спектры ускорений на разных расстояниях от источника колебаний. - В кн.: Прогноз сейсмических воздействий. М.:Наука, 1984, с.28-34.(Вопр. инж. сейсмологии; Вып. 25).
5. Корчинский И.Л. Параметры сейсмоколебаний, необходимые для расчета сооружений. - В кн.: Оценка сейсмической опасности. М.:Наука, 1983,с.132-141.(Вопр. инж. сейсмологии; Вып. 24).

УДК 560.343

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ МОНГОЛИИ В СВЯЗИ С ОЦЕНКОЙ СЕЙСМИЧНОСТИ ТЕРРИТОРИИ

В.И.Васильев

Территория МНР расположена в пределах Центрально-Азиатского эпиплатформенного орогенного пояса и характеризуется сложными и разнообразными инженерно-геологическими условиями.

Основными особенностями, определяющими черты инженерно-геологической обстановки территории республики, являются [6]:

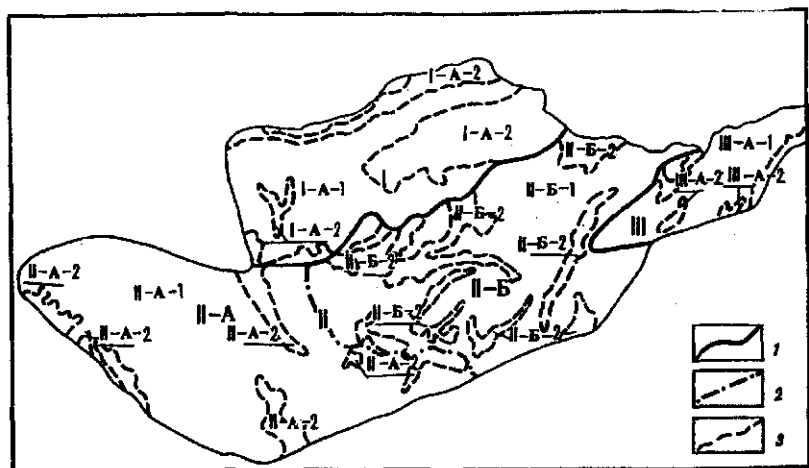
1. Сложное и разнообразное геолого-структурное строение различных частей территории, активная переработка древних и формирование крупных новейших структур [1].

2. Высокая (6-10 баллов) сейсмическая интенсивность многих районов [2,5].

3. Разнообразие состава грунтов, слагающих верхнюю часть разреза [3,4,6,7]. В одних районах (горная часть) породы в основном скальные, в других (котловина Больших озер, восточные районы МНР) - исключительно дисперсные, в третьих развиты скальные грунты, перекрытые дисперсными. В этих последних районах широко распространены грунты склонового ряда: различные по составу крупнообломочные образования с песчаным или суглинистым заполнителем.

4. Широкий диапазон изменения современного состояния грунтов и высотно-поясное его изменение в целом. В высокогорных районах преобладают многолетнемерзлые грунты, а в средне- и низкогорье, в ряде равнинных территорий (г.Чойбалсан, р-н Больших озер) развиты как многолетнемерзлые, так и талые грунты. Последние в большинстве случаев в зоне активного влияния наземных инженерных сооружений являются умеренно и слабоувлажненными, консистенция глинистых грунтов полутвердая и твердая, глубина залегания грунтовых вод в песчаных и крупнообломочных грунтах превышает 5-10 м (юг МНР, Алтай-Тяньшаньский и Гобийско-Восточно-Монгольский регионы).

5. Сложно построенный в целом и разнообразный по морфологии и генезису рельеф [1,3]. В северной и западной частях республики развит эрозионно-тектонический средне- и высокогорный рельеф с абсолютными



Инженерно-геологическое районирование Монголии

I, 2, 3 – границы соответственно регионов, областей и районов.
Объяснения см. в тексте

отметками до 3900–4356 м (Монгольский Алтай, Гобийский Алтай, Хангай, Хэнтэй и др.), в южной и восточной – преимущественно денудационный равнинный и холмистый рельеф Гоби.

В настоящее время созданы схемы мелкомасштабного инженерно-геологического районирования территории МНР [4, 6].

За последнее время В.Т.Трофимовым и Гомбын Лхан-Аасуреном [6] разработана схема инженерно-геологического районирования территории МНР с использованием методических положений, предложенных советскими учеными (Е.М.Сергеев, А.С.Герасимова, В.Т.Трофимов). Авторами использован двухрядный принцип районирования. Первый ряд классификационных признаков учитывает региональные геологические факторы, второй ряд отражает состояние грунтовых толщ верхней части земной коры, непосредственно взаимодействующих с деятельностью человека. Путем наложения таксономических единиц этих рядов классификационных признаков друг на друга авторы выделили таксоны трех уровней.

Предлагаемая однорядная система инженерно-геологического районирования Центральной части МНР является по существу продолжением опытов районирования, выполненных упомянутыми выше авторами (см. рисунок).

Выделено три структурно-тектонических региона: Селенгинский (Северомонгольский сектор Монголо-Сибирской раннепалеозойской структурно-тектонической области), Хэнтэй-Хангайский (Монголо-Забайкальская позднепалеозойская структурно-тектоническая область) и Оноский (Монголо-Охотская раннемезозойская область). В основу их выделения положено время становления континентальной коры и гранитно-метаморфического слоя.

Выделенные регионы представляют собой единую тектоническую структуру с определенным набором формаций и геолого-генетических комплексов пород, своеобразным геоморфологическим обликом и спецификой инженерно-геологических условий. Эти факторы отражают также современные физико-географические условия и климатическую зональность.

Границами между регионами служат глубинные региональные разломы – шовные структуры, простирающиеся конформно с простирающимися главных складчатых структур. С севера территорию районирования ограничивает Селенгинский региональный разлом древнего заложения – самый протяженный и глубинный разлом Монголии (около 1100 км). Граница между Селенгинским и Хэнтэй-Хангайским регионами проводилась ранее по Баянголскому разлому, однако с учетом новых представлений о палеотектонике и развитии исследуемой территории на неотектоническом этапе мы несколько изменили положение этой границы в восточной части, проведя ее по Нуругольскому и Талинскому разломам. Южной границей Хэнтэй-Хангайского региона служат Баххонгельский и продолжающий его Северо-Гобийский разломы.

Четыре структурные единицы (области) выделены в пределах регионов на основе структурно-геоморфологического признака.

I-A – Орхон-Селенгинская депрессионная зона. Область глыбовых гор, разделенных равнинами. Средне- и слаборасчлененное блоковое средне- и низкоегорье. Значительная тектоническая активность в новейшее время.

II-A – Хангайский мегасвод. Область горстовых хребтов и массивов. Интенсивно расчлененное среднегорье, в осевой части высокогорье. Высокая тектоническая активность в новейшее время.

III-B – Хэнтэйский мегасвод. Область горстовых хребтов и купольных массивов. Средне- и слаборасчлененное низко- и среднегорье с участками высокогорья. Умеренная тектоническая активность в кайнозое.

IV-A – Эрендабанское краевое поднятие. Область переходных структур между Хэнтэем и Гобийскими системами. Горстово-блоковые массивы и хребты, разделенные грабенообразными долинами. Раздробленное денудированное средне- и низкоегорье. Значительная тектоническая активность в кайнозое.

В качестве единиц 3-го порядка, т.е. районов, выделены (индексированы арабскими цифрами) неотектонические структуры, формирование которых относится преимущественно к плиоцен-плейстоценовому этапу геологического развития исследуемой территории. В этот период на фоне активизации тектонических процессов происходило формирование современного рельефа и всех генетических типов четвертичных отложений. Их распространение, состав и мощность определяются связью с новейшими морфоструктурами – поднятыми и опущенными блоками. Поэтому в качестве основного признака для обособления районов принят знак неотектонических движений. В пределах каждой области выделены:

районы I-го типа - блоки или системы блоков, характеризующиеся устойчивыми поднятиями на неотектоническом этапе;

районы 2-го типа - межгорные депрессии, грабены и другие отрицательные структуры, сформировавшиеся в условиях дифференцированных тектонических движений с преобладанием опусканий или минимальными градиентами поднятий.

Районы каждого типа характеризуются в общем сходными разрезами отложений склонового ряда, отражающими историю их формирования - особенности неотектонического режима, рельефа и микроклимата. Однотипные районы повторяются в пространстве, иначе говоря, на данной ступени использован типологический принцип районирования.

На заключительном этапе районирования использован формационный принцип деления, выделены не отдельные формации, а группы формаций:

а) интрузивные, преимущественно гранитоидные. Граниты, гранодиориты, граносиениты, диориты;

б) морские, осадочно-вулканогенные (флишеидно-терригенные, кремнисто-терригенные, карбонатно-вулканогенные терригенно-вулканогенные). Песчаники, аргиллиты, конгломераты, кремнистые и глинистые сланцы, эффузивы среднего и основного, реже кислого состава, их пирокласты, известняки, зеленокаменные и амазонитовые породы, яшмы;

в) континентальные (молассовые, молассово-вулканогенные, вулканогенно-терригенные). Песчаники, конгломераты, гравелиты, эффузивы кислого, среднего, щелочного, реже основного состава, их пирокласты с прослоями туфопесчаников и алевролитов, глинистые и углистые сланцы, рыхлые песчано-глинистые отложения.

Предложенная схема инженерно-геологического районирования может быть использована при детальном сейсмическом районировании, а выделение формаций и их групп - при сейсмическом микрорайонировании.

Л и т е р а т у р а

1. Геология Монгольской Народной Республики. М.: Недра, 1973, т. I. 583 с.; т. 2. 751 с.
2. Гоби-Алтайское землетрясение/Под ред. В.П.Солоненко. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 391 с.
3. Карта четвертичных отложений Азиатской части региона ЭСКАТО, м-б 1:5 000 000: (Объяснительная записка)/Под ред. С.В.Медведева. М.: Зарубежгеология, 1982. 71 с.
4. Лонжид Н., Ренчиндорж Т. Монгол Орны инженер-геологийн мутууд. Улан-Батор: Хийгуулчин, 1975, № 4, с.33-36.
5. Сейсмическое районирование Улан-Батора/Под ред. С.В.Медведева. М.: Наука, 1971. 206 с.
6. Трофимов В.Т., Гомбын Лжан-Аасурен. Инженерно-геологическое районирование Монгольской Народной Республики. - Вест. Моск. ун-та. Сер. геол., 1983, № I, с.55-62.

ОБ АППАРАТУРЕ ДЛЯ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ ПРИ СЕЙСМИЧЕСКОМ МИКРОРАЙОНИРОВАНИИ

Д.И.Литвиненко, В.В.Хмелевский

Сейсмологический комплекс "Земля" был внедрен в практику сейсмического микрорайонирования (СМР) в 1974 г. лабораторией сейсмогрунтоведения и инженерной сейсмологии (СГИИС) ПНИИИС [2,3]. Комплекс состоит из шести: четырехканальных полевых регистраторов и стола воспроизведения [3].

С 1974 по 1982 г. при помощи этой станции было проведено СМР в районах Таджикской ССР (Яван), Казахской ССР (Алма-Ата, Рыбачье, Пржевальск, Чолпон-Ата, Чимкент), Северного Кавказа (Ессентуки). Комплекс "Земля" также использовался при научно-исследовательских работах по изучению сейсмических свойств лёссовых и глинистых грунтов в зависимости от гидрогеологических и инженерно-геологических условий. Работы проводились в Алма-Ате, Душанбе, Пятигорске, Минеральных Водах. Всего зарегистрировано около 500 землетрясений.

Полученный полевой материал обрабатывался на цифровой вычислительной машине, в результате чего были построены спектры Фурье. По спектрам Фурье определялось приращение сейсмического балла на различных интервалах частот (1-3, 3-5, 5-7, 7-10 Гц). Эти результаты сопоставлялись с данными инженерно-геологических исследований, сейсморазведочных и других инструментальных работ.

Применение комплекса "Земля" для целей СМР стало возможным после его модернизации, которая позволила улучшить эксплуатационные и технические характеристики полевого регистратора и стола воспроизведения (см. таблицу).

За 8 лет работы по СМР в различных районах СССР комплекс "Земля" зарекомендовал себя надежным в работе и простым в управлении. Однако из-за применения аналоговой записи на магнитный носитель (лента) этому комплексу присущи следующие недостатки:

- 1) наличие паразитной амплитудной модуляции (неприжим ленты, помехи как внешние, так и внутренние, флуктуация питающего напряжения);
- 2) паразитная частотная модуляция (нестабильность скорости движения ленты, как в режиме записи, так и в режиме воспроизведения);
- 3) трудность получения идентичных, стабильных во времени и равномерных амплитудно-частотных характеристик (в полосе пропускания станции) сейсмических каналов из-за разброса параметров магнитной ленты записывающих и воспроизводящих головок, схемотехнического решения входных усилителей и фильтров.

Кроме того, применение входных усилителей в полевом регистраторе с несимметричным входом и большим входным сопротивлением ($R = 1 \text{ МОм}$)

Эксплуатационные и технические данные сейсмологических комплексов "Земля", "Обь-автомат"

Параметр	"Земля"	"Обь-ав- томат"	Желательные параметры для целей СМР
Диапазон регистрируемых частот, Гц	0,5-3,5	0,1-20	0,1-15
Неравномерность амплитудно-частот- ной характеристики, дБ	± 5	$\pm 0,5$	$\pm 0,5$
Уровень приведенных к входу шу- мов, мкВ	1,5	0,02-0,1	0,5
Динамический диапазон регистрируе- мых и воспроизводимых сигналов, дБ	72	60	80
Число сейсмических каналов	6	4-12	Не менее 6
Возможность селективной записи землетрясений (ближние, средние, далекие)	Нет	Есть	Есть
Погрешность записи сигналов на уровне 40 дБ, %	± 15	± 2	± 5
Продолжительность цикла непрерыв- ной регистрации (или количества регистрируемых землетрясений на кассете 500 м), сут	5	50(70)	30(50)
Установка, счет и регистрация вре- мени с ценой внутренних марок вре- мени: 1 с, 1 мин, 1 ч, 1 сут	Нет	Есть	Есть
Мощность, потребляемая полевой станцией, Вт	15	3	Менее 5
Ширина пленки, мм	35	6,25	6,25
Емкость кассеты, м	750	750	500-750
Рабочий диапазон температур, град	$-10^{\circ} - +50^{\circ}$	$-30^{\circ} - +50^{\circ}$	$-30^{\circ} - +50^{\circ}$
Масса полного комплекса полевого регистратора с сейсмоприемниками и источниками питания, кг	160	110	120

снижает еще больше помехозащищенность станции. А энергоемкость эле-
ментной базы (серия К155, К140) позволяет иметь ресурс непрерывной
работы полевого регистратора не более пяти суток (два аккумулятора
типа 5 НК-125), что явно недостаточно.

Отмеченные недостатки снижают качество получаемого материала и ограничивают использование комплекса "Земля" при работах по СМР на объектах гражданского строительства.

За указанные годы работ по СМР в лаборатории СТИИС был накоплен большой опыт по получению и обработке полевого материала, который наряду с другими источниками [1] позволяет сформулировать основные требования к сейсмологической аппаратуре данного профиля и уточнить технические и эксплуатационные характеристики. Из приведенных данных видно, что комплекс "Земля" не полностью удовлетворяет современным требованиям.

В настоящее время нет аппаратуры, специально разработанной для СМР, хотя с каждым годом увеличиваются объемы работ для этих целей в стране и необходимость в ней очевидна. Наиболее полно современным требованиям соответствует аппаратный комплекс "Обь-автомат", предназначенный для автоматической выборочной регистрации сейсмических сигналов землетрясений и промышленных взрывов с последующим их воспроизведением в аналоговой форме.

Сейсмологический комплекс "Обь-автомат" качественно отличается от аналогичных по назначению комплексов типа "Земля" и "Черепаша". Это отличие заключается в следующем: 1) наличие ждущей регистрации землетрясений без потери первого вступления; 2) применение время-импульсной модуляции позволяет записывать на одну дорожку магнитной ленты до двенадцати сейсмических каналов, канал времени и дает возможность использовать магнитную ленту шириной 6,25 мм для бытовой звукозаписи типа А4407-6Б; 3) наличие селективной записи землетрясений (близкие, далекие, те и другие одновременно); 4) разброс амплитудно-частотных характеристик магнитных головок и ленты, а также их собственные шумы не сказываются на работе станции.

Перечисленные особенности станции "Обь-автомат" позволяют получать более качественный материал и сократить время на его обработку в несколько раз по сравнению с аналоговыми сейсмологическими комплексами.

В полный сейсмологический комплекс "Обь-автомат" входят 5-10 полевых станций, 1-2 автономных пульта контроля и базовая станция воспроизведения. После доработки он сможет занять ведущее место среди аппаратуры, применяющейся при СМР объектов гражданского строительства.

В 1982 г. по программе, разработанной и принятой в лаборатории СТИИС ДНИИС, комплекс проходил испытания на объектах СМР г.Чимкента. В 1983 г. полевая станция была использована на этих же объектах совместно с аппаратурой "Земля". Эти работы подтвердили технические и эксплуатационные преимущества комплекса "Обь-автомат". Недостатком комплекса является большое количество (семь) нестабилизированных источников питания. Нами производится доработка блока питания, что поз-

волит использовать один источник и питать станцию стабилизированными напряжениями. Вместе с тем увеличится продолжительность непрерывной работы станции с 5 до 15-20 сут.

Результаты совместной обработки данных, полученных на этих комплексах, показывают целесообразность использования аппаратуры "Обь-автомат" для целей СМР.

Л и т е р а т у р а

1. Аппаратура и методика сейсмометрических наблюдений в СССР. М.: Наука, 1974. 219 с.
2. Алешин А.С., Кожевников А.Д., Литвиненко Д.И. и др. Использование аппаратурного комплекса "Земля" для целей сейсмического микрорайонирования. - В кн.: Инженерные изыскания в строительстве. М.: ЦНИИС Госстроя СССР, 1976. Сер. 2, вып. I(42), с. 7-II.
3. Кожевников А.Д., Литвиненко Д.И. Опыт применения аппаратурного комплекса "Земля" для целей сейсмического микрорайонирования. - В кн.: Сейсмическое микрорайонирование в инженерных изысканиях для строительства: Тез. докл. Всесоюз. семинара. М.: ЦНИИС Госстроя СССР, 1979, с. 71-73.

УДК 550.834:5

СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФУНКЦИИ ЗАТУХАНИЯ СЕЙСМИЧЕСКИХ ТРАСС

М.Б. Матушкин

При сейсмическом микрорайонировании для учета резонансных явлений в исследуемой толще необходимо изучение геологического разреза до глубин 300-500 м. Для этого используются данные сейсморазведки методом отраженных волн. При работе на таких глубинах сильно сказывается затухание волнового поля за счет расхождения фронта волн, прохождения промежуточных границ, рассеяния на неоднородностях, поглощения и других факторов. Влияние этих факторов таково, что амплитуды отражений со временем уменьшаются в десятки раз. Это делает невозможной визуализацию и обработку исходной записи.

Чтобы компенсировать монотонное убывание амплитуд на трассе, необходимо определить функцию затухания, вызывающую это убывание, и разделить значения амплитуд на эту функцию. Стандартный способ оценки функции затухания заключается в вычислении среднего значения модуля амплитуд в окне, скользящем вдоль анализируемой трассы. Такой способ используется в алгоритме автоматической регуляции амплитуд (АРА). Применение стандартного алгоритма АРА для компенсации затухания вызывает искажение соотношения амплитуд волн, так как используемый способ вычисления функции затухания имеет низкую точность.

Был разработан усовершенствованный способ, состоящий в том, чтобы

функция затухания вычислялась стандартным алгоритмом по предварительно обработанной трассе. Эта обработка производится по формуле

$$x'(t) = \begin{cases} x(t), & \text{если } x(t) \leq K_1 \mu(t), \\ K_2 x(t), & \text{если } x(t) > K_1 \mu(t), \end{cases}$$

где $x(t)$ - трасса до предварительной обработки; $x'(t)$ - трасса после предварительной обработки; $\mu(t)$ - среднее значение модуля в окне сглаживания; K_1, K_2 - коэффициенты.

Эта формула поясняется на рис. 1. Как видно, в интервале времени $t_1 - t_2$ значения трассы превосходят значения функции $K_1 \mu(t)$ и в этом интервале амплитуда A трассы умножается на величину K_2 .

Для выяснения качества работы алгоритма в зависимости от коэффициентов K_1 и K_2 были проведены модельные эксперименты на ЭВМ БЭСМ-6. Для моделирования сейсмической трассы была написана программа FORMI на языке FORTRAN. Исходя из имеющихся публикаций [1,2] была выбрана вероятностная модель, состоящая из множества слабых и нескольких сильных импульсов. Интервалы времени между соседними слабыми импульсами распределены по закону Пуассона, а амплитуды - по нормальному закону. Для моделирования сильных отражений в трассу вводились импульсы с амплитудой, превосходящей ее среднеквадратическое значение на порядок. Сформированная импульсная трасса умножалась на модельную функцию затухания, а затем производилась свертка с модельным импульсом.

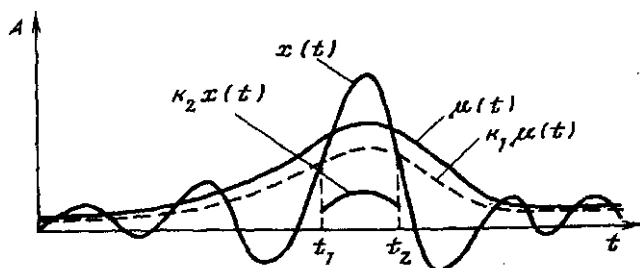
В качестве критерия точности вычисления алгоритмом функции затухания сейсмической трассы было взято относительное среднеквадратическое отклонение $\Delta A/A$ вычисленной функции спада от эталонной.

Максимальная точность вычисления функции затухания получается при $K_1 \approx 1$ и $K_2 = 0$ (рис. 2). Исходя из этого формула предварительной обработки запишется следующим образом:

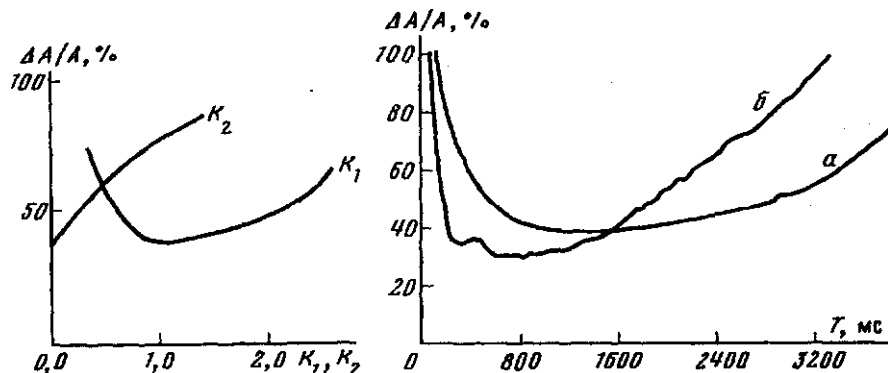
$$x'(t) = \begin{cases} x(t), & \text{если } x(t) \leq \mu(t), \\ 0, & \text{если } x(t) > \mu(t). \end{cases}$$

Исследовались усовершенствованный и стандартный способы вычисления функции затухания при различных окнах осреднения (рис. 3). Анализ результатов приводит к выводу, что усовершенствованный способ позволяет вычислять функцию затухания с большей точностью в широком диапазоне окон. Следовательно, на трассах, компенсация затухания которых производилась по функциям затухания, вычисленным по этому алгоритму, амплитуды волн будут пропорциональны коэффициентам отражений.

Предлагаемый способ позволяет надежно выделять границы с большими коэффициентами отражения $(0,1+0,2)$, которые могут являться резонансными.



Р и с. 1. Пояснение к предварительной обработке трасс



Р и с. 2. Зависимость точности вычисления функции затухания от коэффициентов K_1 и K_2 .

Р и с. 3. Зависимость точности вычисления функции затухания от окна осреднения

а - стандартный способ; б - усовершенствованный способ

Л и т е р а т у р а

1. Володина К.Н., Димбах Ю.И., Нахамкин С.А. Об определении статистических свойств сейсмических сигналов. - В кн.: Вопросы динамической теории распространения сейсмических волн. Л.: Изд-во ЛГУ, 1962, вып.4, с.57-61.
2. Гогоненков Г.И., Асриянц Л.Я. Статистические характеристики распределения коэффициентов отражения упругих волн в реальной среде. Изв. АН СССР. Физика Земли, 1969, № 12, с.181-193.

Л и т е р а т у р а

1. Богомолов Г.В., Козлов М.Ф.: Некоторые закономерности различных химических типов подземных вод на территории БССР. Минск: Изд-во АН БССР, 1960.
2. Долодаренко С.А. Особенности гидрогеологических и инженерно-геологических условий районов краевых ледниковых отложений. - В кн.: *Инженерные изыскания в строительстве*. М.: *ВНИИИС* Госстроя СССР, 1980, Сер.15, вып. 6, с.10-13.
3. Долодаренко С.А., Кригер Н.И., Мироник С.Г. Градостроительство в зонах развития гляциотектоники как разновидность геологического окружения. - В кн.: *Методы типизации и картирования геологической среды городских агломераций для решения задач планирования инженерно-хозяйственной деятельности*. М.: *МОСГИСИЗ* по Стройизыскания, 1981, с.123-124.
4. Каменский Г.И., Толстихина М.М., Толстихин Н.И. Гидрогеология СССР. М.: Госгеолтехиздат, 1959. 366 с.
5. Козлов М.Ф. Некоторые вопросы гидрогеологии Полесской низменности в связи с проблемой ее осушения. - В кн.: *Геология и гидрогеология Припятского прогиба*. Минск: Изд-во АН БССР, 1963, с.145-159.
6. Козлов М.Ф. Гидрогеология Припятского Полесья. Минск: Наука и техника, 1977. 272 с.
7. Котлов Ф.В. Изменение геологической среды под влиянием деятельности человека. М.: Недра, 1978. 263 с.
8. Кригер Н.И. Основные вопросы гляциотектоники. - В кн.: *Краевые образования материковых оледенений*. М.: Наука, 1972, с.319-323.
9. Кригер Н.И., Долодаренко С.А., Мироник С.Г. Гляциотектоника и конечные морены западной части Русской равнины. М.: Наука, 1983. III с.
10. Левков Э.А. Гляциотектоника. Минск: Наука и техника, 1980. 280 с.

СО Д Е Р Ж А Н И Е

Н.И.Кригер. Дисперсные горные породы как среда распространения сейсмических волн.....	3
А.Д.Кожевников. Сейсмическое микрорайонирование территории с учетом техногенных процессов.....	12
Т.И.Гогелия, М.А.Татаренко, В.Г.Шарапов. О влиянии част протавивания под зданиями и сооружениями на интенсивность сейсмических колебаний грунтов.....	17
О.Г.Гунешян, Г.А.Зимина. Инженерно-сейсмические условия конусов выноса и их техногенное изменение.....	24
В.Р.Бейерле. Влияние землетрясений на процесс подземной газификации угля (Ангренское бурогольное месторождение).....	31
В.М.Белослудцев, Н.А.Диссель. Роль инженерно-геологических условий в формировании сейсмического эффекта Баканасского землетрясения 1979 года.....	35
В.А.Васильев. Сейсмодетормации в лёссовых породах Предкавказья в связи с их инженерно-геологическими и акустическими свойствами и техногенезом.....	39
А.В.Герасимов. О корреляционных связях между сейсмическими и физико-механическими характеристиками грунтов.....	42
Б.А.Гранит. Сопоставление инженерно-геологических и сейсмических свойств лёсса и лёссовых грунтов земляных гидротехнических сооружений.....	48
С.Г.Миронюк. Влияние условий седиментации и эпигенеза на инженерно-геологические и сейсмические свойства майкопских глин Предкавказья.....	54
П.К.Волошин. Прогноз изменения инженерно-геологических свойств лёсса под влиянием техногенеза (на примере отложений Вольнской возвышенности СССР).....	58
А.В.Колманов. Определение возможной просадки комбинированного лёссового основания.....	62
Б.А.Матушкин. Уточнение исходного сейсмического балла при сейсмическом микрорайонировании г.Кисловодска.....	66
О.Я.Малевская. Оценка параметров сотрясений для инженерных целей.....	70

В.И.Васильев. Инженерно-геологическое районирование Центральной части Монголии в связи с оценкой сейсмичности территории....	76
Д.И.Литвиненко, В.В.Хмелевский. Об аппаратуре для сейсмологических наблюдений при сейсмическом микрорайонировании.....	80
М.Б.Матушкин. Способ определения функции затухания сейсмических трасс.....	83
С.А.Долодаренко. Гидрогеологические особенности зон краевых ледниковых отложений в связи с техногенным освоением.....	86

УДК 550.634 + 624.131.23

К р и г е р Н. И. Дисперсные горные породы как среда распространения сейсмических волн. - В кн.: Сейсмическое микрорайонирование и техногенез. М.: Наука, 1985.

Введено понятие "парадоксального интервала" влажности. Установлены закономерности изменения скоростей волн внутри "парадоксального интервала". Рассмотрено изменение сейсмических характеристик грунтов в зависимости от температуры, плотности, прочности структурных связей, физико-географического окружения, техногенных процессов, состояния пород. Ил. 2. Библиогр. 22 назв.

УДК 550.343.4 + 624.131.23

К о ж е в н и к о в А. Д. Сейсмическое микрорайонирование территории с учетом техногенных процессов. - В кн.: Сейсмическое микрорайонирование и техногенез. М.: Наука, 1985.

В статье рассмотрено влияние различных техногенных процессов на инженерно-сейсмическую обстановку осваиваемых территорий. На примере двух городов в КазССР приводятся результаты экспериментальных работ по изучению влияния процессов осушения и подтопления территории на изменение приращения сейсмического балла. Сделаны выводы о необходимости учета техногенных процессов при сейсмическом микрорайонировании территории строительства. Библиогр. 8 назв.

УДК 550.34

Г о г е л и я Т. И., Т а т а р е н к о М. А., Ш а р а п о в В. Г. О влиянии чаш протаивания под зданиями и сооружениями на интенсивность сейсмических колебаний грунтов. - В кн.: Сейсмическое микрорайонирование и техногенез. М.: Наука, 1985.

Рассматриваются результаты теоретических расчетов акселерограммы сильных движений с использованием метода конечных элементов при образовании в мерзлых грунтах чаш протаивания. Результаты расчетов показывают меньшую сейсмическую опасность чаш протаивания, чем предполагалось ранее. Ил. 1. Табл. 4. Библиогр. 8 назв.

УДК 550.343.4 + 624.131.23

Г у н е ш я н О. Г., З и м и н а Г. А. Инженерно-сейсмические условия конусов выноса и их техногенное изменение. - В кн.: Сейсмическое микрорайонирование и техногенез. М.: Наука, 1985.

Рассмотрены инженерно-сейсмические условия конусов выноса Предкопетдагской пролювиальной равнины, определяемые тектоническим положени-