

Г. Н. НАЗАРОВ

ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКИ ПРИ СЕЙСМИЧЕСКОМ МИКРОРАЙОНИРОВАНИИ

На основе корреляционной связи между акустической жесткостью горных пород и их электропроводностью в статье предлагается использование методов электроразведки для сейсмического микрорайонирования.

Разрушительное воздействие сейсмического эффекта землетрясений при одном и том же расстоянии от эпицентра определяется главным образом характером рельефа и геологическим строением местности [1]. Сейсмические волны с большой интенсивностью разряжаются на склонах рельефа, на участках выклинивания рыхлых грунтов, и участках с негоризонтальными границами раздела в зонах тектонических разломов, трещиноватости карстового происхождения и на оползневых склонах. Если последние процессы из перечисленных являются незакончившимися, то сейсмическое воздействие бывает особенно сильным [2].

Из опыта установлено, что самые разрушительные землетрясения наблюдаются на участках наиболее рыхлых болотистых, и торфяных грунтах и на плавунных песках. В однородных грунтах, по сравнению с принятыми за эталон крепкими скальными грунтами типа гранитов, приращения балльности (ΔB_a) увеличиваются с уменьшением акустической жесткости грунтов, т. е. с уменьшением скорости распространения в них продольных волн (a_o) и их плотности (ρ), и оцениваются по формуле Медведева

$$\Delta B_a = 1,67 [\lg(a_{ог} \rho_r) - \lg(a_{он} \rho_u)], \quad (1)$$

где произведения $a_{ог} \rho_r$ и $a_{он} \rho_u$ определяют акустическую жесткость гранитов и исследуемых грунтов.

Однородные грунтовые среды по степени их благоприятности для целей строительства в сейсмичных районах с учетом возможных приращений балльности по формуле (1) могут быть размещены в последовательности, дающей в нижеследующей таблице.

Обводненность рыхлых грунтов повышает приращение балльности ΔB_b до 1 балла. Это приращение быстро уменьшается с увеличением уровня грунтовых вод, полностью исчезая при глубинах грунтовых вод 10 м и выше.

Наличие горизонтального переслаивания (вертикальная неоднородность толщ) также может вести к приращениям сейсмической балльности. Особенно сильные возрастания балльности, достигающие по расчетам Пучкова 1—2 баллов [3], наблюдаются в случае резонанса при залегании рыхлой толщи грунтов на жесткой. Резонансные явления начинают возникать при мощности рыхлой толщи свыше 10—15 м, достигая обычно максимальных значений при 75—100 м и исчезая при мощностях, превышающих 200—300 м. При незначительной мощности рых-

Вид грунта	Скорости прод. волн в м/сек	Объемный вес в г/см ³ $\Delta = \rho/g$	Приращение балльности ΔB_a в ГОСТ	Характеристика крепости пород по несущей способности в кг/см ²
Крепкие скальные грунты, включая эталонные граниты	4000—6500	2,4—3,4	0÷0,4	$R_{cm} > 50$
Трещиноватые скальные и полускальные	2000—3200	1,8—2,4	0,5÷1,0	$R_{cm} \approx 10—50$
Валуново-галечные и другие крупнообломочные отложения	1500—2200	1,7—2,4	1,0÷1,4	$R^H \approx 3—10$
Глины плотные твердой консистенции	1400—2100	1,6—2,2	1,0÷1,6	$R^H \approx 3—6$
Рыхлые грунты, сцементированные по всему разрезу мерзлотой	1100—3200	1,4—2,1	1,0÷1,3	$R^H \approx 3—10$
Глины и суглинки пластичной консистенции и пески плотные безводные	800—1600	1,4—2,0	1,2÷1,8	$R^H \approx 2—3$
Лессовые грунты	500—1200	1,3—1,9	1,5÷2,0	$R^H \approx 1,5—2,5$
Пески рыхлые, бархатные, насыпные грунты, торфяники	200—800	1,1—1,8	2÷3,0	$R^H \approx 0,5—1,5$

рых грунтов характер их колебаний близок к тем, которые наблюдают-ся в подстилающем жестком слое.

В соответствии с изложенными особенностями геологического строения и акустическими жесткостями грунтов выполняется сейсмическое микрорайонирование участков, позволяющее разместить сооружения в наиболее благоприятных зонах, учесть отличие жесткостей грунтов оснований от жесткостей фундаментов [4] и добиться значительных экономических эффектов при строительстве. Однако для проведения сейсмического микрорайонирования необходимы сейсморазведочные исследования, которые удается выполнить далеко не всегда, ввиду их значительной сложности, трудоемкости и высокой стоимости. Использование для этих целей упрощенных методов сейсмометрии с переносной аппаратурой и ударными методами возбуждения колебаний [5] чаще всего является недостаточно эффективным из-за низкой производительности и малой глубинности исследований (до 10—20 м).

Используя инженерно-геологические критерии [2], т. е. данные о геологическом строении и несущей способности грунтов, удается выполнить сейсмическое микрорайонирование площадок строительства на основе геологических изысканий. Взаимосвязь несущей способности с акустической жесткостью в настоящее время достаточно известна. Ее хорошая коррелируемость с приращениями балльности однородных грунтов следует из представленной выше таблицы и может быть использована при микрорайонировании.

Микрорайонирование на основании критериев инженерной геологии не требует специальных исследований. На основании крупномасштабных геологических и сейсмометрических данных они могут быть проэкстрополированы на глубину и по площади, однако эти данные остаются слишком приблизительными, ограниченными данными узколокализованных геологических исследований и не позволяют с достаточной эффективностью выполнить выбор наиболее благоприятных участков на широких площадях.

Указанные трудности при проведении сейсмического микрорайонирования могут быть в значительной степени устранены за счет использования данных инженерной электроразведки. При решении вопросов инженерной геологии она используется наиболее широко и с наибольшим эффектом из всех геофизических методов [6], так как требует наименьших затрат и усилий. Обычно для сейсмического районирования оказываются достаточными те данные электрометрии, которые используются для инженерно-геологических целей. Несложные модификации метода электрометрии на основании сведений об изменении электрических сопротивлений грунтов по глубине и по площади позволяют легко выделять участки песчаных, скальных и гравийно-галечниковых грунтов среди глинистых, оценивать интенсивность, направленность и положение зон трещиноватости, закарстованности тектонических разломов и негоризонтальных границ раздела. С помощью этого метода может быть оценена обводненность, пористость грунтов и даже их упругость. Таким образом, с помощью электроразведки могут быть исследованы практически все перечислявшиеся в начале настоящей работы особенности геологического строения, определяющие приращение сейсмичности или ее отклонения от средних условий, характеризующихся мелкомасштабными картами сейсмического районирования.

Методы электроразведки могут использоваться как для приближенной самостоятельной оценки геологического строения района, что делается обычно на стадии рекогносцировки, так и с целью детализации и экстраполяции по площади и на глубину до нескольких сот метров имеющихся более точных геологических и сейсморазведочных данных. Кроме того, используя электроразведку в благоприятных условиях, удастся выполнить приближенную полуколичественную оценку акустической жесткости грунтов, поскольку намечаются достаточно устойчивые зависимости между электропроводностью (при неизменной минерализации грунтовых вод, пористостью (плотностью) грунтов и их упругостью и звукопроводимостью.

Зависимость электросопротивлений грунтов (ρ_{zp}) от пористости (K_v) определяется известной формулой [9]:

$$\rho_{zp} = \frac{1 \pm 0,25\sqrt{1-K_v}}{1-\sqrt{1-K_v}} \cdot \rho_b, \quad (2)$$

где ρ_b — электросопротивление грунтовых вод.

Наличие коррелируемой зависимости скорости продольных волн в грунтах от их плотности иллюстрируется фиг. 1, а зависимость модуля упругости Юнга (E) водонасыщенных скальных грунтов от электросопротивлений — фиг. 2.

Взаимосвязь модуля Юнга и коэффициента Пуассона (σ) со скоростями распространения продольных (a_o) и поперечных (b_o) волн определяется известными [10] формулами:

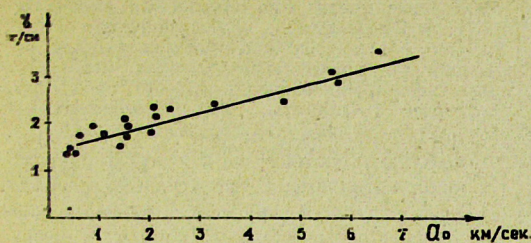
$$E = \frac{b_o^2 \gamma (3 a_o^2 - 4 b_o^2)}{a_o^2 - b_o^2}, \quad (3)$$

$$\sigma = \frac{a_o^2 - 2 b_o^2}{2 (a_o^2 - b_o^2)}, \quad (4)$$

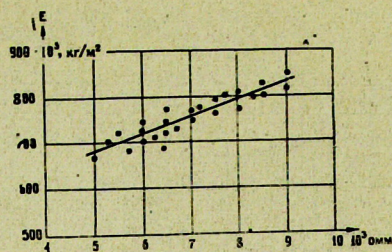
откуда

$$E = \frac{a_o^2 \gamma (1 + \sigma) (1 - 2 \sigma)}{1 - \sigma}, \quad (5)$$

где γ — объемный вес грунтов.



Фиг. 1. Зависимость плотности грунтов (γ) от скорости продольных волн (α_0) в них. (Построен без учета почвенного слоя, мерзлых грунтов и солей).



Фиг. 2. Зависимость модуля Юнга от удельных электрических сопротивлений диабазов [7].

Отсюда могут быть получены и формулы обратных зависимостей

$$\alpha_0 = \sqrt{\frac{E(1-\sigma)}{\gamma(1+\sigma)(1-2\sigma)}}, \quad (6)$$

$$b_0 = \sqrt{\frac{E}{2\gamma(1+\sigma)}}, \quad (7)$$

позволяющие оценивать значения продольных и поперечных скоростей, а, следовательно, и акустическую жесткость грунтов по известным E и σ . Взаимосвязь этих динамических параметров грунтов с их статическими характеристиками по нагрузкам достаточно известна, что и позволяет наметить корреляционные зависимости между несущей способностью грунтов, их электропроводностью, акустической жесткостью и приращениями сейсмической балльности.

Учитывая, что зависимость электропроводности грунтов от сопротивления насыщающих их вод или их минерализации (M) может быть оценена с помощью коэффициента P_v [11]

$$\rho_{zp} = P_v \rho_b, \quad (8)$$

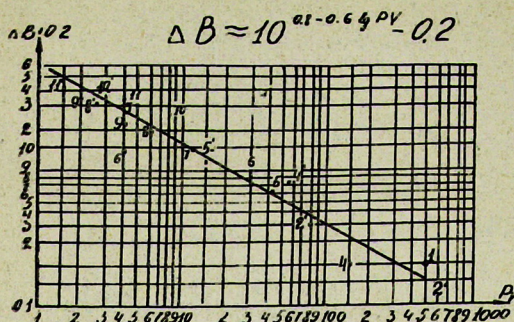
$$\rho_{zp} = P_v \frac{\sigma}{M}. \quad (9)$$

Представляется возможным, используя при оценке упругости грунтов этот коэффициент, избавиться от неопределенности, вносимой в значения электросопротивлений изменением минерализации, и, тем самым, существенно расширить возможности использования электрометрического метода для этой цели.

Построив в билогарифмическом масштабе график зависимости электрометрических коэффициентов P_v непосредственно от приращений сейсмической балльности водонасыщенных грунтов как сумму $\Delta B_a + \Delta B_b$, нам удалось установить хорошо выдержанную корреляционную зависимость даже между этими параметрами (фиг. 3) и выразить ее формулой

$$\Delta B = 10^{0,8 - 0,6 \lg P_v} - 0,2. \quad (10)$$

Это и позволяет использовать электрометрический метод для оценки приращений ΔB при сейсмическом микрорайонировании. Подобные же по коррелируемости графики могут быть построены и для зависимости



Фиг. 3. График приращений балльности ΔB в зависимости от изменений коэффициента P_v . Цифрами характеризуются значения ΔB при наиболее низких (цифры без штрихов) и наиболее высоких (цифры со штрихами) значениях P_v для следующих пород: 1—граниты; 2—кристаллические и метаморфические породы; 4—известняки и песчаники плотные; 5—известняки-ракушечники, аргиллиты; 6—полускальные породы, мел, мергели; 7—крупнообломочные и сильно выветрелые скальные породы; 8—глины плотные; 9—суглинки, лессы и глины слабые; 10—пески; 11—почвы, торфяники, рыхлые насыпные грунты.

коэффициента P_v от модуля Юнга. Точность оценки E и ΔB по электрометрическим данным при необходимости может быть значительно повышена за счет построения графиков зависимости P_v и ρ_{gr} от этих параметров для каждого из видов грунтов в отдельности.

Надежность электрометрических исследований при оценке упругости грунтов резко возрастает, если их применять в комплексе с сейсморазведкой или привязаться к существующим сейсмическим профилям. С этой целью с успехом может быть использована и упрощенная переносная сейсморазведочная аппаратура. Поскольку электроразведка позволит выполнить широкую экстраполяцию и детальную интерполяцию получаемых с ней данных как по глубине, так и по площади, то присущие этому методу сейсморазведки недостатки, о которых говорилось выше, могут быть почти полностью устранены.

Если отмеченный комплекс дополнять ландшафтными (аэро, геоморфологическими, геоботаническими) методами, позволяющими наиболее быстро оценивать наличие и глубину грунтовых вод, изменение литологического состава, проследивать зоны разломов и выходы скальных пород и т. д., то представляется возможность выполнять весьма широкую и быструю экстраполяцию результатов на целые геологические провинции. Это позволяет на основе тех же принципов, что и при скоростной инженерно-геологической съемке [12, 13], производить скоростное сейсмическое районирование, которое целесообразно выполнять по материалам скоростных геологических исследований или одновременно с ними.

ЛИТЕРАТУРА

1. С. В. Медведев. Инженерная сейсмология, Госстройиздат, 1962.
2. В. В. Попов. Инженерно-геологические критерии детального сейсмического районирования. Тр. Ин-та физики Земли АН СССР, № 5, (172), М., 1962.
3. С. В. Пучков. Микрорайонирование зоны Ашхабадского землетрясения. Тр. Ин-та физики Земли АН СССР, № 5, (172), М., 1959.
4. А. Г. Назаров. Метод инженерного анализа сейсмических сил, Изд. АН Арм. ССР, Ереван, 1959.
5. Г. А. Лямзина. Об определении сейсмических свойств грунтов при помощи передвижных сейсмических станций. Тр. Ин-та физики Земли АН СССР, № 10 (177), М., 1960.
6. А. А. Огильви. Геофизические методы исследований, Изд. МГУ, 1962.
7. З. Г. Яценко, И. С. Есаков. О применении электроразведки для изучения упругих свойств изверженных горных пород. Разведочная и промысловая геофизика, № 33, Гостоптехиздат, 1959.

8. Л. С. Полак, М. В. Раппопорт. О связи между электрическими и упругими свойствами осадочных пород. Прикладная геофизика № 15, Гостоптехиздат, 1956.
 9. В. Н. Дахнов. Электрическая разведка нефтяных и газовых месторождений, Госгеолтехиздат, 1953.
 10. Гурвич. Сейсморазведка. Изд. «Недра», М., 1964 г.
 11. А. М. Горелик и др. Электроразведка источников водоснабжения, Трансжелдориздат, М., 1956.
 12. И. С. Комаров, В. И. Ферронский, Р. А. Хасин. Скоростные методы инженерно-геологических исследований для целей массового строительства, Изд. «Недра», 1964.
 13. С. В. Викторov. Растительность, как индикатор литологических и почвенно-гидро-химических условий. МОИП, Географ. секция, 1960.
-