

8. Степанян В. А. Землетрясения на Армянском нагорье и прилегающих районах. Ереван: Айпетрат, 1964.
9. Сборник «Землетрясения в СССР в 1976 г.» М.: Изд. Наука, 1980, стр. 263.
10. Bulletin of International Seismological centra November 1976, Edinburg 1979, p. 89—97.
11. Dewey I. W. Seismicity and tectonics of Western Venezuela, Bull. Seism. Soc. Amer. 1972, 62, 1711—1751.
12. Toksoz N., Arpat E., Saroglu F. East Anatolian earthquake of 24 November. „Nature“ London 1977, 270, 5636. p. 423—425.

Известия АН АрмССР, Науки о Земле, 1988, XLi, № 6, 45—49

УДК: 624.131.22

## КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

С. Р. МЕСЧЯН, Т. Л. ПЕТРОСЯН

### ВЛИЯНИЕ ПЛОТНОСТИ ГЛИНИСТОГО ГРУНТА НА ЕГО СОПРОТИВЛЕНИЕ СДВИГУ

В общепринятой методике определения сопротивления сдвигу глинистых грунтов [5,8] подвергают испытанию на срез несколько образцов предварительно уплотненных под действием различных по величине нормальных напряжений  $\sigma_z$  (по ветви уплотнения компрессионной кривой), имеющих различную плотность-пористость  $e$ . В этом случае диаграмма сопротивления сдвигу в координатах  $\tau_f - \sigma_z$  изображается прямой, отсекающей на оси  $\tau_f$  отрезок  $c$ . Сопротивление сдвигу определяется по известной зависимости—линейного уравнения закона сухого трения Кулона:

$$\tau_f = \sigma_z \operatorname{tg} \varphi + c, \quad (1)$$

где  $\varphi$  и  $c$ —параметры.

Поскольку параметры  $\varphi$  и  $c$ , входящие в (1), определены испытанием на срез образцов различной плотности, то не могут быть названы углом трения и сцеплением.

В целях определения истинных значений угла внутреннего трения и сцепления  $c$  глинистых грунтов Г. Тидеман [9] подвергал испытанию на срез образцы, обладающие одинаковой плотностью, под действием различных нормальных напряжений  $\sigma_z$ . Из испытания нескольких серий образцов-близнецов с различной постоянной пористостью им было получено семейство параллельных линейных диаграмм сопротивления сдвигу  $\tau_f - \sigma_z$  и установлено, что по мере возрастания плотности (уменьшения пористости) имеет место увеличение сцепления  $c$  по линейному закону  $c = \sigma_z \operatorname{tg} \varphi_c$  при постоянном угле трения  $\varphi$ .

Аналогичные исследования были проведены М. Хворослевым [6], Г. И. Покровским [6], А. В. Коробочкиным [1] и другими. При этом, М. Хворослев, вместо линейных диаграмм Г. Тидемана, получил семейство кривых  $\tau_f - \sigma_z$ , а Г. И. Покровский установил изменимость не только сцепления  $c$ , но и угла трения  $\varphi$ . Работа А. В. Коробочкина послужила основой для составления Технических условий и норм проектирования гидротехнических сооружений. Во ВНИИ гидротехники эта методика была изменена таким образом, что образцы грунтов получали различное предварительное уплотнение, после которого они срезывались при трех-четырех нормальных напряжениях, меньших напряжениях предварительного уплотнения [1].

Подробное исследование этого вопроса выполнено А. А. Ничипоровичем [6]. На приборах одноплоскостного и двухплоскостного среза собственной конструкции он осуществил испытание различных глинис-

тых грунтов нарушенного и природного сложения при различных постоянных значениях плотности (пористости) образцов. Постоянство пористости образцов  $e = \text{const}$  при различных значениях уплотняющего давления  $\sigma_z$ , как и в методике ВНИИгидротехники, достигалось испытанием на срез переуплотненных образцов по ветви разгрузки (декомпрессии, набухания) компрессионной кривой в пределах участка, близкого к горизонтальной прямой. Для этого серии образцов-близнецов уплотнялись под действием  $\sigma_z, f = 1,0$  и  $1,5$  МПа, а после стабилизации деформаций разгружались до  $\sigma_z = 0,1; 0,3$  и  $0,5$  МПа и срезывались под действием этих уплотняющих давлений.

А. А. Ничипоровичем было установлено, что по мере возрастания плотности грунта и уменьшения пористости имеет место увеличение сцепления  $c$  и уменьшение угла внутреннего трения  $\varphi$ , а выражение (1) представлено в виде:

$$\tau_f = \sigma_z \operatorname{tg} \varphi(e) + c(e), \quad (2)$$

где  $\operatorname{tg} \varphi(e)$  — линейная функция от  $e$ ,  $c(e)$  — нелинейная функция, также зависящая от коэффициента пористости  $e$ .

Без ссылки на источники Н. А. Цытович [8] отмечал, что полученные А. А. Ничипоровичем результаты подтверждаются подобными же данными других исследователей и теоретическими соображениями Н. М. Герсеванова. Для подтверждения данных А. А. Ничипоровича Н. А. Цытович воспользовался изменяемостью коэффициента сдвига связанных грунтов по мере увеличения уплотняющего давления.

Вывод А. А. Ничипоровича об увеличении сцепления  $c$  с возрастанием плотности глинистого грунта Н. Н. Маслов [4] назвал вполне логичным, а уменьшение угла  $\varphi$  — нелогичным, в корне противоречащим его выводам. После 1949 г. Н. Н. Маслов больше никогда не обращался к этому вопросу.

Интерес к рассматриваемому вопросу в последнее время значительно возрос и стал предметом специального исследования. В частности в [7], используя методику испытания образцов А. А. Ничипоровича, установлено возрастание  $c$  по мере увеличения плотности глинистого грунта при практически постоянном значении угла  $\varphi$ . Л. И. Кульчицкий и др. [3] на одноплоскостном срезном приборе ВСВ—25 установили возрастание как  $c$ , так и  $\varphi$  по мере увеличения плотности грунта. Причем, авторы [3], не ссылаясь на ранее выполненные в этой области работы, методику определения  $\varphi$  и  $c$  по ветви разгрузки компрессионной кривой считают ими «рекомендуемую» (?). В. Д. Казарновский [2] выводы А. А. Ничипоровича назвал парадоксальными, обусловленными испытанием образцов при различной плотности в различных диапазонах уплотняющего давления и ярко выраженной кривизной предельной линии  $\tau_f = f(\sigma_z)$  в зонах малых напряжений.

Из изложенного выше следует, что нет единого мнения в вопросе об изменяемости угла трения  $\varphi$  в зависимости от изменяемости плотности (пористости) глинистого грунта и поэтому он нуждается в дополнительном исследовании. Очевидно, что эти исследования должны быть выполнены по методике, позволяющей получение вполне достоверных экспериментальных данных. Такой методикой, на наш взгляд, является испытание кольцевых и сплошных образцов на кручение [5].

Чтобы внести определенную ясность в рассматриваемый вопрос авторами статьи осуществлено исследование сопротивления сдвигу глинистого грунта нарушенного сложения ( $\rho_s = 2,64$  г/см<sup>3</sup>;  $w_L = 0,31$ ;  $w_p = 0,19$ ,  $J_p = 0,12$ ) в различных состояниях плотности (пористости) по методике ВНИИгидротехники-Ничипоровича. Сплошные образцы диаметром 101 мм, высотой 24 мм испытаны на приборах кручения М—5 [5] как по ветви уплотнения, так и по ветвям декомпрессии (разгрузки, набухания) компрессионной кривой (см. рис. 1б) с целью определения сопротивления сдвигу грунта в различных состояниях плотности

(пористости). Образцы испытаны на сдвиг со скоростью приложения касательных напряжений  $0,006 \text{ МПа}$  в минуту.

В таблице 1 приведены средние значения начальной плотности ( $\rho_{0,m}$ ), влажности ( $w_{0,m}$ ), плотности скелета ( $\rho_{do,m}$ ) и коэффициента пористости ( $e_{0,m}$ ) пяти серий образцов, предварительно уплотненных под действием пяти различных значений уплотняющего давления  $\sigma_{z,f} = 0,15; 0,30; 0,50; 0,70; 1,0 \text{ МПа}$ , частично разгруженных и испытанных на срез при практически одинаковых значениях плотности ( $\rho$ )—пористости ( $e$ ) и влажности ( $w$ ).

Диаграммы сопротивления сдвигу пяти состояний плотности-пористости-влажности образцов рассматриваемого грунта показаны на рис. 1, а. На рис. 1, б показаны компрессионные кривые с ветвями уплотнения и разуплотнения (декомпрессии). Опытами установлено, что за исключением образцов, предварительно уплотненных под действием  $\sigma_{z,f} = 1,0 \text{ МПа}$ , во всех остальных случаях образцы каждой серии практически обладали одинаковыми физическими свойствами, поскольку возрастание коэффициента пористости грунта после разгрузки не превышало двух процентов. В то же время образцы, предварительно уплотненные под действием  $\sigma_{z,f} = 1,0 \text{ МПа}$  и разгруженные до  $0,6$  и  $0,3 \text{ МПа}$ , в первом случае увеличили свой коэффициент пористости на два процента, а во втором случае—до  $14\%$ , что сказалось на диаграмме сопротивления грунта сдвигу (см. рис. 1, а).

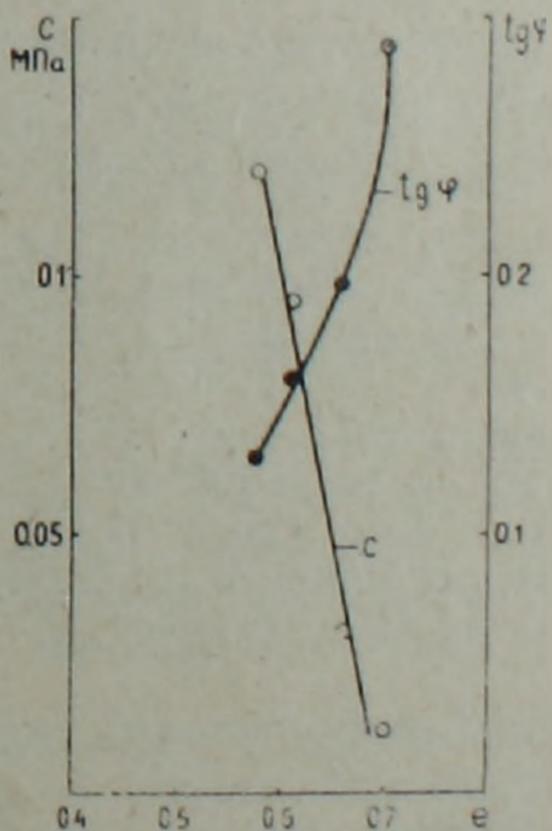
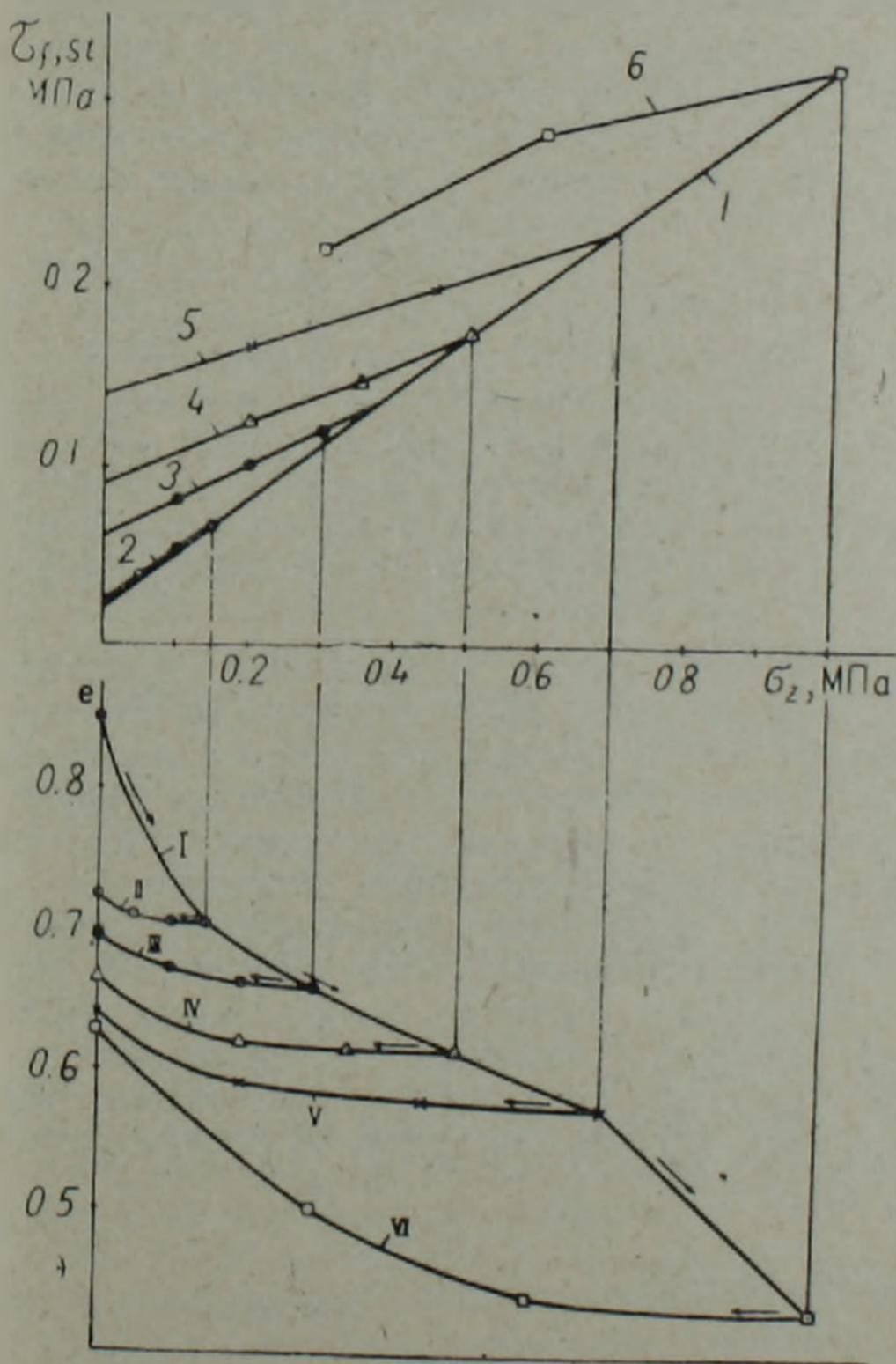


Рис. 1. Диаграммы сопротивления сдвигу грунта (а), определенные по ветви нагружения (1) и разгрузки (2—6) компрессионной кривой при предварительном уплотнении под действием  $\sigma_{z,f} = 0,15; 0,3; 0,5; 0,7$  и  $1,0 \text{ МПа}$  соответственно и кривые компрессии и декомпрессии (б).

Рис. 2. Кривые зависимости  $\text{tg } \varphi - e$  и  $c - e$ .

Совершенно очевидно, что при вычислении параметров сопротивления сдвигу грунта в указанном состоянии следует использовать только опытные данные, полученные от испытания образцов под действием 0,6 МПа.

Параметры сопротивления сдвигу пяти серий образцов-близнецов, обладающих различными, практически одинаковыми значениями пористости-плотности-влажности, приведены в таблице 1. Они свидетельствуют о том, что по мере увеличения плотности грунта имеет место возрастание сцепления и значительное снижение угла трения  $\varphi$  (рис. 2). Следовательно, полученные результаты полностью подтверждают правильность результатов экспериментальных исследований А. А. Ничипоровича и мнений, высказанных по этому поводу Н. М. Герсевановым, Н. А. Цытовичем и др.

Полученные результаты не лишены физического смысла. Как справедливо отмечал А. А. Ничипорович [6], по мере уплотнения глинистого грунта до нулевой пористости имеет место существенное возрастание сцепления грунта за счет увеличения сил молекулярного притяжения и уменьшение до нуля угла внутреннего трения, наблюдаемого в сплошных твердых телах, например, в металлах. Небезынтересно отметить, что уменьшение до нуля угла  $\varphi$  для некоторых глинистых грунтов установлены Н. Н. Масловым [4].

Нам представляется, что полученные А. А. Ничипоровичем и нами результаты справедливы для слабых нормально уплотненных глинистых грунтов, не обладающих существенной структурной прочностью, плотность которых под действием уплотняющих давлений подвергается значительному изменению. При небольшом увеличении плотности грунта уменьшение  $\varphi$  не будет существенным и можно будет его величину считать постоянной.

Таблица 1

№№ п/п	$\rho_s$ , г/см <sup>3</sup>	$\rho_{0,m}$ , г/см <sup>3</sup>	$w_{0,m}$	$\rho_{d0,m}$ , г/см <sup>3</sup>	$e_{0,m}$	$\sigma_{z,f}$ МПа	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	$w$	$\rho_d$ , г/см <sup>3</sup>	$e$	$c$ , МПа	$\operatorname{tg}\varphi$	$\varphi$
1						0,15	1,930	0,260	1,530	0,703	0,0236	0,2870	16°0'
2						0,3	1,934	0,242	1,557	0,664	0,0615	0,1970	11°12'
3	2,64	1,851	0,300	1,426	0,851	0,5	1,965	0,240	1,585	0,614	0,0903	0,1633	9°15'
4						0,7	1,965	0,223	1,607	0,575	0,1399	0,1280	7°18'
5						10,	1,983	0,223	1,621	0,431	—	0,09	5°12'

В случае испытания глинистых грунтов, обладающих прочными структурными связями, изложенная выше закономерность будет нарушаться за счет структурных их изменений под действием нормальных уплотняющих давлений. Как будет изменяться сопротивление грунта сдвигу неизвестно. Для выяснения этого весьма интересного вопроса следует выполнить специальные широкомасштабные исследования.

В заключение отметим, что диаграммы сопротивления сдвигу (рис. 1, а), полученные испытанием предварительно уплотненных под действием  $\sigma_{z,f} = 0,3; 0,5$  и  $0,7$  МПа и частично разгруженных образцов, охватывают одинаковые интервалы изменчивости нормальных напряжений. Из этого следует, что нельзя согласиться с изложенным выше мнением В. Д. Казарновского [2], высказанного по рассматриваемому здесь вопросу.

Институт геологических наук АН АрмССР

Поступила 19.VII.1988.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Евдокимов П. Д. Прочность оснований гидротехнических сооружений на мягких грунтах. М.-Л.: Госэнергоиздат, 1956, 271 с.
2. Казарновский В. Д. Оценка сдвигоустойчивости связных грунтов в дорожном строительстве. М.: Транспорт, 1985, 168 с.

3. Кульчицкий Л. И., Коновалова Н. Ю., Габлюбов Ф. А. Определение параметров сдвиговой прочности глинистых пород.—Разведка и охрана недр. 1985, № 7, с. 49—50.
4. Маслов Н. П. Прикладная механика грунтов. М.: Машстройиздат, 1949, 328 с.
5. Месчан С. Р. Экспериментальная реология глинистых грунтов. М.: Недра, 1985, 342 с.
6. Ничипорович А. А. Сопротивление глинистых грунтов сдвигу при расчете гидротехнических сооружений на устойчивость. М.: Стройиздат, 1948, 128 с.
7. Тер-Мартirosян Э. Г., Тищенко В. А., Якубов М. М. Влияние плотности и влажности глинистого грунта на его деформационные свойства—Приложение численных методов к задачам геомеханики. Межвуз. сб. научных трудов. М.: МИСИ, 1986, с. 156—167.
8. Цытович Н. А. Механика грунтов. М.: Госстройиздат, 1951, 528 с.
9. Tidemann H. Über die Schubfestigkeit bindiger Boden—„Bautechnik“, 1937—v. 10, № 13—p. 8—14.

Известия АН АрмССР, Науки о Земле, 1988, XLІ, № 6, 49—53

#### КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК: 553.776:550.835

С. Е. МАРГАРЯН, А. Г. ХУДАВЕРДЯН

### ИЗОТОПНЫЙ ФЛУОРЕСЦЕНТНЫЙ АНАЛИЗ БРОМА И СТРОНЦИЯ В РАССОЛАХ

В настоящее время в области геологических, геофизических и геохимических исследований широко внедряются высокочувствительные, экспрессные методы анализа элементного состава вещества. Особое значение имеют ядерно-физические методы анализа, основанные на эффектах взаимодействия излучения с веществом.

Химические элементы и их соединения, используемые в народном хозяйстве, добываются в основном из твердого минерального вещества—руды. Однако, кроме твердых руд в природе существуют и так называемые жидкие руды—растворы с высоким содержанием полезных компонентов. Природные водные растворы с минерализацией свыше 35—50 г/л принято называть рассолами [2].

Общая минерализация рассолов достигает 300—600 г/л. Набор растворимых элементов в рассолах специфичен для разных по своему строению, геотермическому режиму и истории геохимического развития региона.

В настоящее время во многих странах ведутся работы как по изучению элементного состава рассолов, так и их практического использования с целью добычи определенного круга элементов и их соединений.

Объектом наших исследований являлись рассолы Припятского прогиба (Белорусская ССР), как наиболее перспективного региона для добычи полезных ископаемых из рассолов. Более или менее достаточно в этих рассолах изучено содержание и распределение следующих основных макрокомпонент:  $\text{NH}_4$ , Na, K, Mg, Ca, Sr, Mn, Fe, Cl, Br, I, Cr, Ni, Cu, Zn, Pb,  $\text{HCO}_3$ ,  $\text{SO}_4$  [1, 2].

Однако до настоящего времени почти не был известен микросостав этих рассолов из-за сложности, трудоемкости, малочувствительности и малопродуктивности используемых для этих целей классических методов химического анализа.

Разработанная нами ранее методика оптимального нейтронно-активационного анализа рассолов позволяет определить концентрации таких элементов, как: Na, Cl, K, Ca, Mn, Zn, Ga, As, Br, Cd, Sr, In, Sb, I, Ba, Er, W, Sc, Co, Ag, Hf, La, Au, Cr, Se, Fe, Gd, Rb, Eu, обнаруженных в этих рассолах [5].