

УДК 624. 131. 37

Член-корреспондент НАН Армении Г. И. Тер-Степанян, Л. Л. Матевосова

### Структурообразование глины при циклической сдвигающей нагрузке

(Представлено 23/XII 1993)

Структура грунта в реологическом смысле определяется взаимным пространственным расположением частиц грунта, контактов между ними и величиной и направлением элементарных сил, действующих в точках контакта и обеспечивающих устойчивые связи между частицами. Ранее было показано, что в процессе деформирования возникают, развиваются и разрушаются последовательные структуры грунта; переход от одной структуры грунта к другой совершается скачкообразно<sup>(1,2)</sup>. В настоящей статье исследуется поведение грунта при циклически изменяющейся нагрузке.

Как известно, при реологических испытаниях грунтов опыты необходимо проводить над свежими образцами<sup>(3)</sup>, т. е. над образцами, которые до того не подвергались нагружению или деформированию. Строго говоря, это требование выполнимо лишь частично, в случае реологических испытаний грунтов, в частности оползневых, и невыполнимо при осуществлении циклического нагружения; изложенное ниже должно быть оценено с указанным ограничением.

Для исследований был взят глинистый грунт с глубины 14,5 м из скважины, пробуренной на Ацаванском оползне в Армении. Испытания проводили над образцом с перемятой структурой на кольцевом приборе Тер-Степаняна (описание схемы прибора см. в<sup>(1)</sup>). Испытуемый образец представляет собой грунтовое кольцо высотой  $h = 15$  мм, с внешним диаметром  $2\Gamma_2 = 125$  мм и внутренним  $2\Gamma_1 = 85$  мм. Образец укладывали на опорный диск; для предотвращения бокового выдавливания его заключали между внутренними и внешними ограничительными кольцами. С верхней и нижней сторон грунт соприкасался с фильтрами, обеспечивающими дренажное. Для устранения капиллярного давления грунт заливали водой. Вертикальную нагрузку прилагали постепенно, начиная с 18 кг (18+22+30+33 кг). Процесс консолидации продолжался 18 дней. Затем сразу была приложена горизонтальная нагрузка и начато наблюдение за ползучестью. Принимается, что возникшие напряжения равномерно распределены в горизонтальной плоскости, т. е. грунт пластичен.

Величины средних напряжений вычисляются из выражений:  
нормальное

$$\sigma = \frac{P_g}{z(\Gamma_2^2 - \Gamma_1^2)} = 1,5P; \quad (1)$$

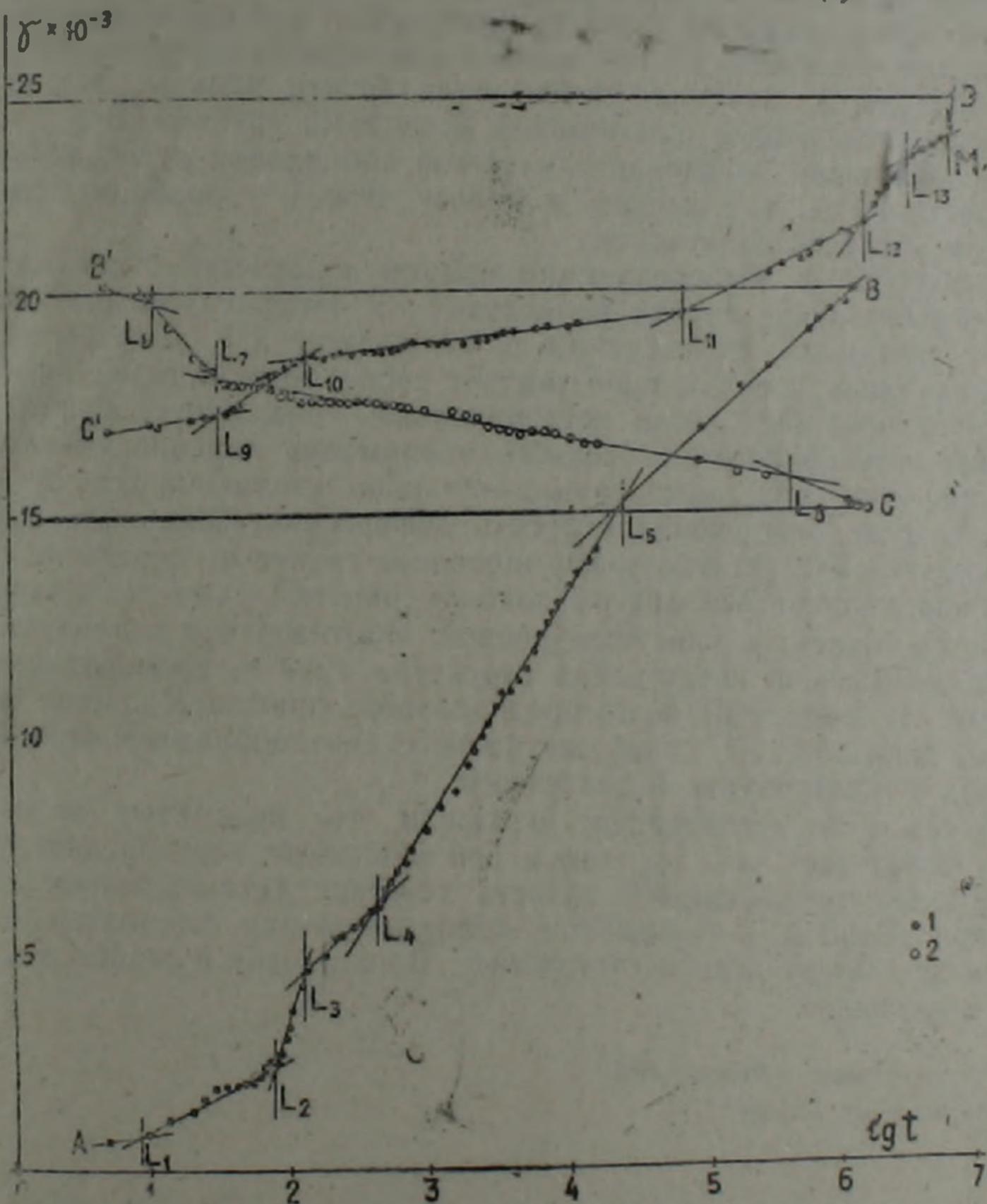
касательное

$$\tau = \frac{3M}{2\pi(\Gamma_2^2 - \Gamma_1^2)} - 2Q. \quad (2)$$

где  $M = Qgd/2$  — момент, вызванный массой горизонтальной нагрузки  $Q$ ,  $d = 145$  мм,  $g = 9,81$  м. с<sup>-2</sup>. Опыт проведен при нормальном напряжении  $\sigma = 100$  кПа и касательном  $\tau = 30$  кПа.

Отсчеты велись первую минуту каждые 5 с, следующие 12 мин — каждые 30 с, дальше в течение двух часов — через каждые 5 мин, далее через 30 мин и через час. В течение 10 дней отсчеты проводили ежедневно и далее 1—2 раза в неделю. Опыт длился 115 дней.

Действие первого нагружения продолжалось 14 дней. Результаты опыта приведены на полулогарифмическом графике зависимости между временем и деформацией сдвига (рисунок). Первое нагружение представлено участком АВ. Затем горизонтальная нагрузка была сня-



Линеаризация кривых ползучести на полулогарифмическом графике. Дренажное испытание на ползучесть при сдвиге в кольцевом приборе при циклическом приложении сдвигающего напряжения  $\tau = 30$  кПа нормальное напряжение  $\sigma = 100$  кПа действовало непрерывно. Грунт — перемятый суглинок из Ацавапского оползня в Армении. АВ — нагружение, В'С — разгружение, С'Д — повторное нагружение. Абсцисса — логарифм времени в секундах; ордината — деформация сдвига.  $L_1 - L_{13}$  — скачкообразные перестройки структуры. 1 — нагружение, 2 — разгружение

та, и в течение 17 дней велись наблюдения за обратной ползучестью (участок В'С). Наконец, была повторно приложена горизонтальная нагрузка  $\tau=30$  кПа и в течение 84 дней велись наблюдения за прямой ползучестью (участок С'Д).. Поскольку на логарифмической шкале  $\lg t$  не может быть показана точка, соответствующая  $t=0$ , и первый отсчет делался через 5 с после приложения нагрузки, то во всех случаях ординаты конечных точек предшествующих этапов опыта (В, С) и начальных точек последующих этапов (В', С') на графике не совпадают.

Структурообразование грунта при снятии касательных напряжений (обратная ползучесть, ветвь В'С) качественно происходит совершенно так же, как и в процессе прямой ползучести, т. е. при приложении нагрузки (ветвь АВ). Однако количественно величина обратной ползучести существенно меньше, что свидетельствует об остаточной деформации.

Сравнение графиков первого (ветвь АВ) и второго (ветвь С'Д) нагружения показывает, что процесс ползучести происходит также скачкообразно, но величина деформации грунта меньше. Это явление характерно для любых циклических испытаний грунтов. Все три кривые обнаруживают чередование участков замедления и ускорения процесса ползучести, что говорит в пользу тезиса о подобии процессов прямой и обратной ползучести.

Предыдущими исследованиями прямой ползучести было показано, что деформирование грунта происходит на четырех уровнях: молекулярном, частичном, структурном и агрегатном (4). Деформирование на нижних двух уровнях представляет собой детерминированный процесс, подчиняющийся четко установленным уравнениям: в фазах мобилизации и стабилизации скорость деформации линейно уменьшается со временем, в фазе акцелерации—линейно увеличивается со временем, а в фазе разрушения скорость деформации сохраняет свое постоянное значение. Однако деформирование грунта на агрегатном уровне должно подчиняться другим закономерностям самоорганизации вещества, выражаемым присущей кривой. Противоречие реализуется путем скачкообразной перестройки структуры грунта, происходящей при большом отклонении от хода, предписанного присущей кривой. Исследования показали, что такой же процесс скачкообразной перестройки происходит и при обратной ползучести.

Проведенное исследование показало, что перемятые оползневые грунты ведут себя так же, как и ненарушенные переконсолидированные грунты, что расширяет область действия установленных закономерностей. Выявлено уменьшение деформации при структурообразовании, свидетельствующее о гистерезисе. Вопрос этот нуждается в дальнейшем изучении.

Институт геофизики и инженерной  
сейсмологии НАН Армении

Հայաստանի ԿԱԱ թղթակից առդամ Գ. Ի. Տեր-Ստեփանյան, Լ. Լ. Մաթևոսովա

Կավերի ստրուկտուրաների առաջացումը ցիկլային տեղաշարժող  
բռնվածքի ժամանակ

Նախորդ հետազոտությունները բացահայտեցին սահմանակա-  
վերում ստրուկտուրաների առաջացման մի շարք օրինաչափություններ:  
Սկզբունքորեն նույն պրոցեսները տեղի են ունենում ցիկլային բռնվածքի  
176

դեպքում բեռնաթափման և կրկնակի բեռնաթափման դեպքում առաջանում. զարգանում և քանդվում են իրար հաջորդող ստրուկտուրաներ (նկար): Ուշագրավ է, որ բեռնաթափման և կրկնակի բեռնաթափման ընթացքում ստրուկտուրաները առաջին բեռնավորման համեմատ ավելի մեղմ են արտահայտվում:

#### Л И Т Е Р А Т У Р А — Գ Ր Ա Կ Ա Ն Ո Ւ Ր Վ Ո Ւ Ն

<sup>1</sup> I. M. Burgers, B. Scott, Report on the principles of rheological nomenclature, Joint Committee on Rheology, Intern. Congress on Rheology, Holland, 1949 <sup>2</sup> Գ. Մ. Եր-Տեպանյան, Проблемы геомеханики, Ереван, вып. 7 (1976). <sup>3</sup> G. Ter-Stepanian, in: Geomechanics and Water Engineering in Environmental Management, Chowdhury R. N. (ed.) Rotterdam, A. A. Balkema, p. 529—558, 1992. <sup>4</sup> Գ. Մ. Եր-Տեպանյան, Инженерная геология, № 3, с. 11—26, 1988.