

## ПОЛЗУЧЕСТЬ В АЛЬПИЙСКИХ ГЛИНИСТЫХ ФОРМАЦИЯХ

Член-корр. АН АрмССР, проф., докт. техн. наук Г. И. ТЕР-СТЕПАНЯН<sup>1</sup>

*Реферат.* М. Дисли и Э. Рекордон описали своеобразный земляной поток в Вилларбени, в швейцарских Предальпах, и связали его механизм с реологическими свойствами глин. Дается анализ полученных ими результатов и предлагается расчет оползлевого значения динамической вязкости глин по данным инклинометрических наблюдений.

Под таким названием М. Дисли и проф. Э. Рекордон представили Десятому международному конгрессу по механике грунтов и фундаментостроению, состоявшемуся в Стокгольме в 1981 г., превосходную статью о соотношении между реологическими свойствами грунтов и длительным поведением оползней; эта проблема—одна из наиболее важных как в современном оползневедении, так и в реологии грунтов (Dysli, Recordon, 1981).

Из описываемых в статье трех примеров ползучести склонов особый интерес представляет случай своеобразного земляного потока в Вилларбени на северо-восточном склоне фрибурских Предальп (рис. 1). Он развивается на покрытом лесом и пастбищами склоне; не имея экономического значения, склон привлек к себе внимание вследствие необычайно высокой скорости смещения масс. По существу, в Вилларбени не происходит типичного оползания, связанного с нарушением равновесия. Движущийся материал является продуктом выветривания и локального обрушения с обрывистых утесов, сложенных оксфордскими мергелями и покрытых мергелистыми известняками. На рис. 1 утесы не показаны. Этот очень глинистый материал имеет вид вязкой массы, протекающей по узкой ложбине, показанной в верхней части рис. 1, и разливающейся затем на склоне, господствующем над кантональной дорогой. Вязкий глинистый язык, продолжая течь, консолидируется под действием собственного веса, и вязкость его постоянно увеличивается, что ведет к замедлению скорости смещения. Поэтому по его поверхности может протекать другой глинистый язык. Если образующий этот язык материал менее вязок вследствие своего минералогического состава или степени консолидации, чем нижележащий язык, то новый язык может обогнать фронт первого языка. Поэтому вся сползающая масса состоит из вязких языков течения различной длины, расположенных друг над другом.

На оползне была разбита наблюдательная сеть, состоящая из полигонометрических и триангуляционных точек, труб для инклинометрических измерений, установленных в четырех скважинах, и датчиков для определения порового давления, расположенных на различных глубинах и в разных пунктах оползня.

<sup>1</sup> Зав. Лабораторией геомеханики ИГИС АН АрмССР.

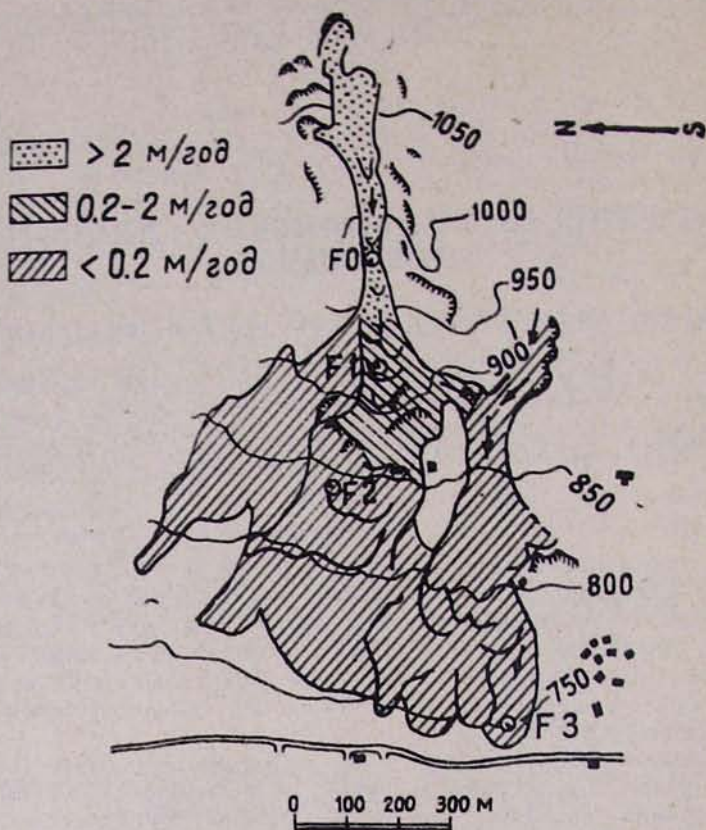


Рис. 1. План оползня в Вилларбени. Знаками показано распределение скоростей смещения за 1978—1980 гг. (по Dysli, Recordon, 1981).

նկ. 1 Վիլարբենի սղաճի հատակագիծը: Ստվերագծերով և կենտրոն շուրջ է տված տեղաշարժերի արագության բաշխումը 1978—1980 թվականներին (ըստ Dysli, Recordon, 1981).

Fig. 1. Plan of Villarbeney landslide. Distribution of displacement rates for 1978—1980 is shown by signs (after Dysli, Recordon, 1981).

Основные индексационные характеристики грунтов из трех инклинометрических скважин приведены в таблице; расположение скважин показано на рис. 1. Заслуживает внимания, что остаточный угол внутреннего трения  $\varphi_R$  существенно превышает угол  $\beta$  наклона склона к горизонту. Это свидетельствует о влиянии сцепления грунта. Соотношение между углом склона  $\beta$  и углом эффективного внутреннего трения  $\varphi'$  подтверждает сделанный ранее вывод о том, что длинные склоны, в которых пьезометрический уровень находится у поверхности склона, оползают, если тангенс угла наклона превышает половину тангенса угла эффективного внутреннего трения,  $\text{tg } \beta \geq 0.5 \text{ tg } \varphi'$  (Тер-Степанян, Симонян, 1982). В данном случае у скважины F1  $\text{tg } \beta = 0.249$  и  $\text{tg } \varphi' = 0.412$ , и следовательно критерий оползания удовлетворяется.

Вид и скорость движения масс показаны на рис. 2. В верховой ложбине, у скважины F0, мощность движущейся массы составляет около 7 м, а ее скорость—около 3 м в год. Поэтому удалось произвести только 2 измерения, так как в дальнейшем труба оказалась ис-

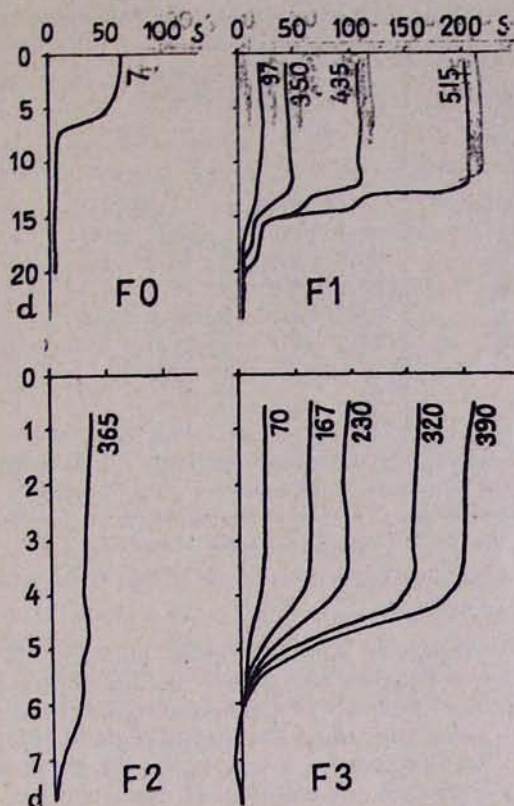


рис. 2. Зависимость между глубиной  $d$  в метрах и горизонтальным смещением  $s$  в миллиметрах в четырех скважинах по инклинометрическим измерениям; цифры у кривых показывают количество дней от начала наблюдений (по Dysli, Recordon, 1981).

2.  $d$  խորությունը (մետրով) և  $s$  հորիզոնական տեղաշարժի կախվածությունը ըստ ինքնոմետրիկ չափումների. թվերը կորերի մոտ ջուլց են տալիս օրերի բանակը դիտումները սկսելուց հետո (ըստ Dysli, Recordon, 1981).

Fig. 2. Relationship between depth  $d$  in meters and horizontal displacement  $s$  in millimeters according to inclinometer measurements in four boreholes; figures at curves show quantity of days from beginning of observations (after Dysli, Recordon, 1981).

привлеченной настолько, что инклинометр уже не смог пройти через нее. У скважины F1 ползучесть происходила только в слое толщиной в несколько метров, расположенном на глубине около 15 м. На этом участке до бурения скважины и установки инклинометрических труб скорость смещения поверхностных точек составляла около одного метра в год. На конечном языке земляного потока, в скважине F3, движется вся толща грунта со скоростью около 0,2 м в год. Геодезические измерения на этом участке показали общее смещение 23 м за 54 года.

На наш взгляд, изменение характера движения в средней части склона, обнаруженное скважиной F1, объясняется преобразованием земляного потока. Данный земляной поток относится к типу накапливающихся, так как его нижний отдел не подмывается рекой и по мере развития земляного потока материал должен аккумулироваться. В земляных потоках этого типа вследствие изменения статических условий изменяются и условия равновесия, и в нижних отделах земляных потоков

Основные индексационные характеристики грунта из Вилларбени  
 Հիմնական ինդեքսացիոնային հատկությունները  
 Principal index properties of soils from Villarbenny

| Символ—<br>Գործիքային—<br>Symbol | Единица—<br>Միավոր—<br>Unit           | Скважина—Հորատանոց—Borehole |            |            |
|----------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|------------|------------|
|                                  |                                       | F0*                         | F1**       | F2*        |
| $\rho_d$                         | т. м <sup>-3</sup> t. m <sup>-3</sup> | 1,54±0,10                   | 1,46±0,10  | 1,09±0,30  |
| w                                | %                                     | 30,1 ±6,0                   | 31,1 ±10,1 | 65,0 ±35,0 |
| w <sub>L</sub>                   | %                                     | 40,8 ±2,2                   | 46,2 ±1,1  | 48,9 ±15,0 |
| I <sub>p</sub>                   | %                                     | 22,6 ±2,2                   | 23,3 ±5,6  | 24,4 ±7,6  |
| <2 <sub>a</sub> ***              | %                                     | 20,5 ±4,0                   | 26,0 ±8,0  | 20,5 ±7,4  |
| >0,5 mm                          | %                                     | 45,2 ±7,5                   | 25,0 ±12,0 | 45,0 ±20,0 |
| $\varphi'$                       | °                                     | —                           | 22,4       | —          |
| $\varphi_R$                      | °                                     | 24                          | 22         | —          |
| $\rho$ ****                      | °                                     | 13                          | 14         | 12         |

\* Вся оползающая масса; \*\* на глубине 15—18 м; \*\*\* в процентах от фракции 0—0,5 мм; \*\*\*\* угол наклона склона к горизонту.

\* Ամբողջ սողացող զանգվածը, \*\* 15—18 մ խորության վրա, \*\*\* տոկոսներով 0—0,5 մմ ֆրակցիայից, \*\*\*\* լանդի թեքության անկյունը հորիզոնի նկատմամբ:

\* Whole sliding mass; \*\* on depth from 15 to 18 m; \*\*\* in per cent from fraction 0—0,5 mm; \*\*\*\* angle of slope.

время от времени возникают вращательные оползни. Их характерной особенностью является увеличение радиусов вращения последовательных оползней. Первые такое преобразование земельного потока во вращательные оползни было описано в Хосте, близ Сочи (Тер-Степанян и др., 1968). Деформации, наблюдаемые в скважине F1 на глубине 15 м, вероятно, являются вращательной глубинной ползучестью, предшествующей оползанию.

Дисли и Рекордон сопоставляют предложенные теории вязкого поведения грунтов начиная с работы Терцаги, впервые высказавшего такую точку зрения (Terzaghi, 1931), с их действительным поведением; одни авторы рассматривают грунт как твердое тело (конечные деформации за бесконечное время), а другие—как жидкое (бесконечные деформации за бесконечное время).

Применяемые Дисли и Рекордоном выражения «твердое» и «жидкое» состояния грунта, по всей вероятности, имеют в виду подразделение этапов испытания грунтов по признаку затухания или незатухания деформации. Заметим, что такое подразделение можно сделать только на основании весьма длительных наблюдений, измеряемых годами. Интерес представляет произведенный Дисли и Рекордоном анализ литературных данных; некоторые выводы приводятся ниже.

Предел ползучести, иначе предел мобилизации или граница между твердым и жидким состояниями, не равен остаточному сопротивлению сдвигу грунта, за исключением, быть может, переконсолидированных грунтов, в которых область жидкого состояния, заключенная между остаточным сопротивлением и пределом ползучести, очень широка. Модели типа Бингема с пределом ползучести, равным остаточному сопротивлению грунта, на первый взгляд очень привлекательные (Уеп, 1969), не являются всеобщими признанными.

Некоторые опыты показали, что при постоянном во времени напряжении деформации в области до предела мобилизации являются линейной функцией логарифма времени; это касается как объемной деформации, так и деформации перекашивания. Другие опыты

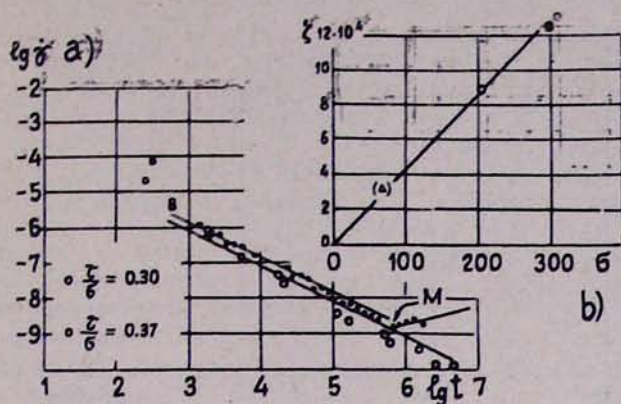


Рис. 3. Результаты испытаний на ползучесть грунта из скважины F1, произведенных на приборе прямого сдвига: а) зависимость между логарифмом времени  $t$  в секундах и логарифмом скорости ползучести  $\dot{\epsilon}$  в 1/секунда; б) зависимость между нормальным напряжением  $\sigma$  в килопаскалях и статической вязкостью  $\zeta$  в килопаскалях (по Dysli, Recordon, 1981).

3. F1 հորատանցքից վերցրած գրունտի սողիմի արդյունքները պարզ սահմանի սարքում. (a) կապը  $t$  ժամանակի (վայրկյաններով) և  $\dot{\epsilon}$  սողիմի արագության (1/վրկ) լոգարիթմների միջև: б) կախվածությունը  $\sigma$  նորմալ ճնշման (կՊա) և  $\zeta$  ստատիկական մածուցիկության (կՊա) միջև (ըստ Dysli, Recordon, 1981):

Fig. 3. Results of creep tests of soil from borehole F1 carried out in direct shear device. a) relationship between logarithms of time  $t$  in seconds and creep rate  $\dot{\epsilon}$  in 1/sec; b) relationship between normal stress  $\sigma$  in kPa and static viscosity  $\zeta$  in kPa (after Dysli, Recordon, 1981).

показали, что линейной функцией логарифма времени является скорость деформации и постоянные этой функции пропорциональны тензору напряжений ( $\lg \dot{\epsilon} = C_1 + C_2 \lg t$ , где  $C_1$ —функция тензора напряжений и  $C_2$ —постоянная). Наши опыты, как известно, показали, что линейная функция связывает именно скорость деформации и логарифм времени (Тер-Степанян, 1976); в некоторых случаях возможна также связь первого типа. Этот вопрос заслуживает изучения.

Определение предела мобилизации было произведено в очень различных условиях деформирования (простое кручение, трехосное кручение, прямой сдвиг и др.) и дренирования и при различных значениях степени консолидации, перематия; синтез полученных результатов рискован. К тому же трудно сказать, является ли этот предел одним и тем же для всех тензоров и траекторий напряжений.

Дисли и Рекордон отмечают, что большинство исследователей пришло к выводу об очень большом ускорении деформации после предела мобилизации и что исключение составляют опыты Тер-Степаняна (1976), которые позволяют количественно несколько лучше определить ползучесть. Они также указывают на большие преимущества применения понятия статической вязкости, равной отношению динамической вязкости ко времени.

Образцы грунта, полученные из оползня Вилларбени, были испытаны на ползучесть на приборе прямого сдвига фирмы ГЕОНОР N12 и на кольцевом приборе, сконструированном Дисли и Рекордоном. Кольцевой прибор имел следующие характеристики: средний радиус вращения канала 130 мм, ширина канала 60 мм, глубина канала 50 мм,

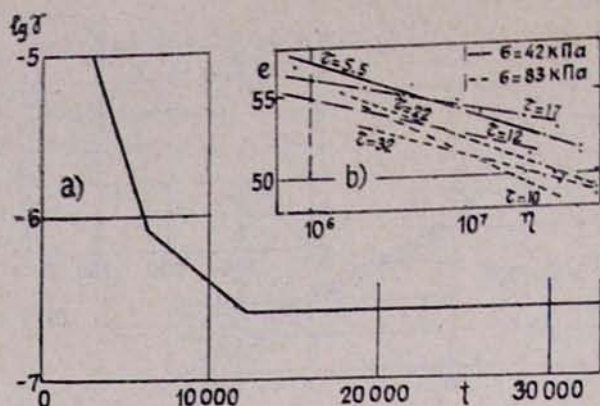


Рис. 4. Результаты испытаний на ползучесть грунта из скважины F0, произведенных на вращательном приборе: а) зависимость между временем  $t$  в секундах и логарифмом скорости ползучести  $\dot{\gamma}$  в 1/секунда, при  $\tau/\sigma=0,27$  (сглаженная кривая наблюдений); б) зависимость между динамической вязкостью  $\eta$  в килопаскаль·секундах и коэффициентом пористости  $e$  (по Dysli, Recordon, 1981).

Նկ. 4. F0 հորատանցքից վերցրած գրունտի սողի փորձերի արդյունքներն օղակաձև սահքի սարքում. ա) կախվածությունը  $t$  ժամանակի (վայրկյաններով) սողի արագության (1/վրկ) լոգարիթմների  $\tau/\sigma=0,27$  պահին (հարկեցված դիտարկման կորագիծ), б) կախվածությունը  $\eta$  դինամիկական մածուցիկության (կՊա, վայրկյանով) և  $e$  ծախսակենսության գործակցի (ըստ Dysli, Recordon, 1981):

Fig. 4. Results of creep tests of soil from borehole F0 carried out in ring shear device. a) relationship between time  $t$  in seconds and logarithm of creep rate  $\dot{\gamma}$  in 1/sec at  $\tau/\sigma=0,27$  (smoothed observation curve); b) relationship between dynamic viscosity  $\eta$  in kPa, sec and void ratio  $e$  (after Dysli, Recordon, 1981).

наибольшее вертикальное давление 800 кПа, скорость вращения определяется усилием, передаваемым ступенями от электронного устройства и мотора; свободное перекашивание в пределах высоты образца, т. е. отсутствие предопределенной поверхности скольжения; перекашивание измеряется по всей высоте образца с помощью рентгеновского прибора (свинцовые шарики); дополнительное измерение касательных и нормальных усилий с помощью кембриджского прибора, установленного на дне канала и в выступающей части кольца.

Результаты испытаний грунта из скважины на приборе прямого сдвига показаны на рис. 3. Как отмечают Дисли и Рекордон, они подтверждают результаты, полученные некоторыми исследователями, в частности, Тер-Степаняном. Логарифмическое соотношение между временем и скоростью деформации показано на рис. 3, а. Предел мобилизации  $M$  был достигнут для опыта при  $\tau/\sigma=0,30$ ; время мобилизации того же порядка, что и в наших опытах ( $\lg t \approx 6$ ). Опыт при  $\tau/\sigma=0,37$  не был доведен до предела мобилизации, так как аппаратура не смогла измерить весьма малые скорости деформирования. На рис. 3, б показана зависимость между нормальным напряжением и статической вязкостью; график подтверждает полученное нами линейное соотношение между нормальным давлением и статической вязкостью.

Результаты испытаний на кольцевом приборе показаны на рис. 4. Дисли и Рекордон отмечают, что выяснение сути вопроса оказалось более долгим делом, чем это предполагалось, и что пока могут быть сообщены самые предварительные результаты. Эти результаты относятся к опытам, в которых процессы консолидации и сдвига происходи-

нии параллельно, иными словами, вертикальная нагрузка и горизонтальное сдвигающее усилие прилагались одновременно к неконсолидированному образцу грунта. На рис. 4, а показана сглаженная зависимость между временем и скоростью перекашивания. График состоит из трех участков: начального, когда наблюдаются очень высокие, быстро снижающиеся скорости деформации; промежуточного, когда скорости деформации ниже и падение их также более медленное, и конечного, когда скорость деформации постоянна. Экспериментаторы объясняют поведение грунта в начальной фазе влиянием рассеивания порового давления, которое не измерялось. Но дело, вероятно, не только в поровом давлении. Наши ранние опыты на сдвиг слюдяного порошка (материала, не обладающего сцеплением) показали, что если нормальные и касательные напряжения прилагаются одновременно, то происходят большие деформации, а зависимость между напряжением и деформацией плавная (Тер-Степанян, 1948).

Необходимо подчеркнуть, что результаты реологических испытаний имеют ограниченную ценность при анализе глубинной ползучести старых склонов. Образцы для лабораторных испытаний малы, взятие образца связано с нарушением структуры грунта и существенным изменением напряженного состояния, продолжительность опытов слишком коротка, а геологические условия не могут быть удовлетворительно смоделированы. Большим преимуществом обладают полевые методы определений, свободные от этих ограничений.

В письменной дискуссии по докладу Дисли и Рекордона автор обратил внимание на возможность определения полевого значения динамической вязкости  $\eta$  грунта, пользуясь результатами инклинометрических наблюдений (Тер-Степанян, 1982). Этот метод описан в другом месте (Тер-Степанян, Симонян, 1982).

Динамическая вязкость равна

$$\eta = \frac{BT}{\gamma_z} \frac{a' + \sigma'}{A + \rho'z} (z - d_s), \quad (1)$$

где

$$a' = c' \operatorname{ctg} \varphi'; A = a' / (g \cos^2 \beta) + \rho_w d_p; B = A \rho \operatorname{tg} \beta / (A + \rho' d_s); \quad (2)$$

$z$  — глубина рассматриваемой площадки от поверхности;  $d_p$  — глубина пьезометрического уровня;  $d_s$  — глубина нижней границы жесткой зоны;  $T$  — длительность наблюдений за ползучестью и  $\gamma_z$  — угловая деформация ползучести, измеренная инклинометром и соответствующая этому интервалу времени.

На основании приведенных в таблице данных, находя из рис. 2 значения  $d_s = 11,7$  м,  $T = 515$  дней  $= 4,45 \cdot 10^7$  с и  $\gamma_z = 0,049$  и принимая  $c' = 10$  кПа и  $d_p = 0$ , из ур. (1) было установлено, что приближенное значение динамической вязкости грунта с глубины  $z = 15$  м равняется  $\eta = 2,76 \cdot 10^9$  кПа · с (Тер-Степанян, 1982). Позже М. Дисли любезно подтвердил предположение, что  $c' = 10$  кПа и  $d_p = 0$ , и сообщил уточненное значение  $\gamma_z = 0,061$  (Dysli, 1984). Отсюда получаем из ур. (2)  $a' = 24,8$  кПа,  $A = 2680$  кг · м<sup>-2</sup>,  $B = 95,7$  кг · м<sup>-3</sup> и вычисляем по ур. (1) уточненное полевое значение динамической вязкости  $\eta = 2,23 \cdot 10^9$  кПа · с. Оно свободно от ограничений, накладываемых масштабным эффектом, влиянием нарушений при взятии образцов испытаний и небольшой длительностью лабораторных исследований.

Автор весьма признателен М. Дисли за сообщенные данные о скорости ползучести оползня в Вилларбени.

## ՍՈՂՔԸ ԱԼՊԻԱԿԱՆ ԿԱՎԱՅԻՆ ՖՈՐՄԱՏԻԱՆԵՐՈՒՄ

ՀՍՍՀ ԳԱ ԲՊԲ. անդ., պրոֆ., տեխն. գիտ. դոկտոր Գեորգ ՏԵՐ-ՍՏԵՓԱՆՅԱՆ:

Ռեֆերատ. Մ. Դիսլին և է. Թեկորդոնը նկարագրեցին մի յուրահատուկ հողահոսք՝ Վիլարբենիում՝ շվեյցարական Նախաալպերում, և կապեցին նրա մեխանիզմը կավերի ռեոլոգիական հատկությունների հետ: Տրվում է նրանց կողմից ստացված արդյունքների վերլուծությունը, և առաջարկվում է դինամիկ մածուցիկության դաշտային արժեքի հաշվարկը, հիմնված ինկլինոմետրիկ դիտումների վրա:

1981 թ. Ստոկհոլմում կայացած գրունտների մեխանիկային և հիմքաշինությանը նվիրված X միջազգային կոնգրեսում Մ. Դիսլին և է. Թեկորդոնը մի հրաշալի զեկուցում ներկայացրին՝ նվիրված գրունտների ռեոլոգիական հատկությունների և սողանքների երկարատև վարքի փոխհարաբերությունը, որը ժամանակակից սողանքագիտության և գրունտների ռեոլոգիայի կարևորագույն պրոբլեմներից է: Ենթոհիվ շարժման մեծ արագության՝ Վիլարբենիի հողահոսքը (նկ. 1)<sup>2</sup> առանձնակի հետաքրքրություն է ներկայացնում: Սողացող զանգվածը բաղկացած է մերձքլինների հողմահարումից առաջացած նյութից, որը հոսում է նկ. 1-ի վերին մասում ներկայացրած նեղ ձորակով և դուրս է հորդում լանջն ի վար բազմաթիվ կավային լեզվակների տեսքով: Ազլուսակում բերված են գրունտների ինդեքսալորման հիմնական հատկությունները: Գրունտի ներքին շփման մնացորդային անկյունը զգալիորեն գերազանցում է լանջի անկյանը: Լանջի անկյան և ներքին շփման էֆեկտիվ անկյան փոխկապակցվածությունը հաստատում է նախկինում արված այն եզրահանգումը, որ զետեի մակերևույթին մոտ պիեզոմետրիկ մակարդակ ունեցող երկար լանջերը սողում են, եթե լանջի  $\beta$  անկյան տանգենսը զերեքանցում է ներքին շփման էֆեկտիվ  $\varphi'$  անկյան տանգենսի կեսին, (Թեր-Տեփանյան, Տիմոնյան, 1982),  $\operatorname{tg} \beta \geq 0,5 \operatorname{tg} \varphi'$ . Տվյալ դեպքում  $F_1$  հորատման մոտ  $\operatorname{tg} \beta = 0,249$  և  $\operatorname{tg} \varphi' = 0,412$ . Հետևաբար, սահնգման շափանիշը բավարարված է:

Ջանգվածի շարժման ձևն ու արագությունը տրված են նկ. 2-ում:  $F_0$  հորատման մոտ 2 մ հաստությամբ կավային զանգվածը սողում է նեղ ձորակով մոտ 3 մ/տարի արագությամբ:  $F_1$  հորատման մոտ սողքի գոտին կենտրոնանում է մոտ 15 մ խորության վրա:  $F_3$  հորատման մոտ սողքի արագությունը նվազում է մինչև 0,2 մ/տարի:

$F_0$  և  $F_1$  հորատման նմուշները փորձարկվել են GEONOR H12 պարզ և օղակային սահի սարքերի միջոցով: Սողքի փորձարկման արդյունքները ներկայացված են նկ. 3 և 4-ում: Պարզ սարքի միջոցով կատարված փորձարկումները (նկ. 3) հաստատում են մորֆոլոգիական սահմանի առկայությունը և ստատիկ մածուցիկության ու նորմալ լարման միջև գծային հարաբերությանը վերաբերող՝ հեղինակի նախկինում առաջ բաշած դրույթը (Թեր-Տեփանյան, 1976): Օղակային սարքի միջոցով կատարված փորձերում (նկ. 4) նորմալ և շոշափող լարումները միաժամանակ են կիրառվել: Փորձարկման նախնական փուլում (նկ. 4) դիտվել են արագ նվազող բարձր ղեֆորմացիաներ: Դրանք վերադրվել են ծակոտկենային ճնշման ցրմանը, որը չի չափվել: Սա միակ բացատրությունը չէ: Թերֆարքի փուլում հետ (մի նյութ, որ զուրկ է կապակցվածությունից) նախկինում արված փորձերը ցույց են տվել, որ եթե նորմալ և շոշափող լարումները կիրառվում են միաժամանակ, ապա սահի ղեֆորմացիաները բարձր են լինում, իսկ ճիգ-ձիգ փոխհարաբերությունը՝ սահուն (Թեր-Տեփանյան, 1948):

Հեղինակը գրավոր մի գիտավեճում (Թեր-Տեփանյան, 1982) ցույց է տվել ինկլինոմետրիկ դիտումների արդյունքների վրա հիմնված՝ գրունտի դինամիկ մածուցիկության դաշտային արժեքների որոշման հնարավորությունը: Որոշման մեթոդը նկարագրված է մեկ այլ զեկուցման մեջ (Թեր-Տեփանյան, Տիմոնյան, 1982): Դինամիկ մածուցիկությունը որոշվում է բնծ. (1)-ից, որտեղ  $\alpha'$ ,  $A$  և  $B$  մեծությունները ստացվել են բնծ. (2)-ից,  $z$ -ը թնկվող հարթության խորությունն է մակերևույթից,  $d_r$ -ն պիեզոմետրիկ մակարդակի խորությունն է մակերևույթից,  $ds$ -ն գրունտի կոշտության զրոյի ստորին սահմանի խորությունն է,  $T$ -ն սողքի դիտումների տեղումությունն է, իսկ  $\gamma$  -ն՝ ինկլինոմետրով չափված և այս ժամանակամիջոցին համապատասխանող անկյունային ղեֆորմացիան:

<sup>1</sup> ՀՍՍՀ ԳԱ ԳԻՍԻ դեոմեխանիկայի լաբորատորիայի վարիչ:

<sup>2</sup> Նկարները, բանաձևերը և աղյուսակը՝ տես էջ 115—121:

Հիմնվելով աղյուսակում ներկայացված տվյալների վրա, նկ. 2-ից ընդունելով, որ  $d_s = 11,7$  մ,  $T = 515$  օր  $= 4,45 \cdot 10^7$  վ և  $\gamma = 0,049$ , և ենթադրելով, որ  $c' = 10$  կՊա և  $d_p = 0$ , բնձ. (1) և (2)-ից գտանք, որ դրունտի դինամիկ մածուցիկության մոտավոր արժեքը  $z = 15$  մ խորության դեպքում հավասար է  $\tau_i = 2,76 \cdot 10^5$  կՊա. վ (Ter-Stepanian, 1982), Հետազոտում Մ. Դիսլի (Dysli, 1984) սիրով հաստատեց այն ենթադրությունը, որ  $c' = 10$  կՊա և  $d_p = 0$  և հաղորդեց հեղինակին ճշտված արժեքը՝  $\tau_z = 0,061$ , Այստեղից՝ բնձ. (2)-ից գտնում ենք, որ  $\alpha' = 24,8$  կՊա,  $A = 2680$  կգ մ<sup>-2</sup>,  $B = 95,7$  կգ մ<sup>-3</sup> և բնձ. (1)-ից հաշվում ենք դինամիկ մածուցիկության ճշտված դաշտային արժեքը՝  $\tau_i = 2,23 \cdot 10^5$  կՊա. վ: Այս դաշտային արժեքը զերծ է սահմանափակումներից՝ պայմանավորված մասշտաբային էֆեկտով, նմուշահանման և փորձարկման ժամանակ խախտման աղդեցություններ, և լաբորատոր ուսումնասիրությունների կարճատևության պատճառով:

Հեղինակը երախտագետ է Մ. Դիսլիին սողանքին վերաբերվող սողքի արագության տրվյալները հայտնելու համար:

## CREEP IN ALPINE CLAYEY FORMATIONS

GEORGE TER-STEPANIAN<sup>1</sup>, Prof., Dr. Sc. (Eng.), Corr. Mem. Armen. Ac. Sc.

*Synopsis.* M. Dysli and Prof. E. Recordon described a peculiar earthflow at Villarbeney in Swiss Prealps and correlated its mechanism with the rheological properties of clays. Analysis of their results is given and calculation of the field value of the dynamic viscosity of clays based on inclinometric observations is proposed.

M. Dysli and Prof. E. Recordon (1981) presented to the Stockholm Conference on Soil Mechanics an excellent paper on correlation between the rheological properties of soils and the long-term behavior of landslides. This problem is among the most important ones both in the modern science on landslides and in the soil rheology. The case of a peculiar earthflow at Villarbeney (Fig. 1)<sup>2</sup> is of special interest owing to the extremely high velocity. The sliding mass consists of material produced by weathering of marls flowing through a narrow ravine shown in the upper part of Fig. 1 and pouring out as numerous clay tongues on the slope. The principal index properties of soils are listed in Table. The residual angle of internal friction is considerably higher than the angle of slope to horizontal. Relationship between the angle of slope and effective angle of internal friction confirms the earlier conclusion that the long slopes with the piezometric level at the ground surface will slide if the tangent of the slope angle  $\beta$  exceeds one half of the tangent of the effective angle of internal friction  $\varphi'$ ,  $\tan \beta > 0.5 \tan \varphi'$  (Ter-Stepanian, Simonian, 1978). In the present instance at the borehole F1  $\tan \beta = 0.249$  and  $\tan \varphi' = 0.412$ ; therefore the criterion of sliding is satisfied.

The form and the velocity of mass movement are shown in Fig. 2. In the narrow ravine at the borehole F0 the clay mass about 7 m in thickness is creeping with a rate 3 m/year approximately. The creeping zone at the borehole F1 is concentrated in a narrow layer situated at a depth of about 15 m. The creep rate at the borehole F3 reduces to 0.2 m/year.

Soil samples from the boreholes F0 and F1 were tested in direct shear device GEONOR H12 and in ring shear apparatus; the results of creep tests are shown in Figs. 3 and 4. Tests with the direct shear device (Fig. 3) confirmed the Author's previous suggestion regarding the existence of the mobilization limit and linear relationship between the normal stress and the static viscosity of the soil (Ter-Stepanian, 1975). In experiments with the ring shear apparatus (Fig. 4, a) the normal and tan-

<sup>1</sup> Head, Laboratory of Geomechanics IGES, Armen. Ac. Sc.

<sup>2</sup> Figures, Equations and Table see p. 115-121.

gential stresses were applied simultaneously. High quickly decreasing strains were observed in the initial phase of the test (Fig. 4a). This was attributed to the pore pressure dissipation being not measured. This is not the only point. Our early experiments with mica powder (a material having no cohesion) showed that if the normal and shear stresses both are applied simultaneously the shear strains are high and the stress-strain relationship is smooth (Ter-Stepanian, 1936).

The Author has shown in a written discussion (Ter-Stepanian, 1982) the possibility to determine the field value of the dynamic viscosity based on results of inclinometric observations. The method is described in another report (Ter-Stepanian, Simonian, 1978). The dynamic viscosity  $\eta$  is determined from Eq. (1), where values  $a'$ ,  $A$  and  $B$  are obtained from Eqs. (2);  $z$  is the depth of the plane under consideration from the surface;  $d_p$  is the depth of the piezometric level from the surface;  $d_s$  is the depth of the lower boundary of rigid zone of the soil;  $T$  is the duration of the creep observations and  $\gamma_z$  is the angular deformation measured by inclinometer and corresponding to this time interval.

Based on the data given in Table, accepting the values  $d_s=11.7$  m,  $T=515$  days  $=4.45 \cdot 10^7$  s and  $\gamma_z=0.049$  from Fig. 2, and assuming that  $c'=10$  kPa and  $d_p=0$ , it was found from Eqs. (1) and (2) that the approximate value of the dynamic viscosity of the soil from depth  $z=15$  m is equal to  $\eta=2.76 \cdot 10^9$  kPa · s (Ter-Stepanian, 1982). Later on M. Dysli (1984) confirmed kindly the assumption that  $c'=10$  kPa and  $d_p=0$ , and communicated the refined value of  $\gamma_z=0.061$ . Hence we get from Eqs. (2)  $a'=24.8$  kPa,  $A=2680$  kg · m<sup>-2</sup>,  $B=95.7$  kg · m<sup>-3</sup>, and calculate from Eq. (1) the improved field value of the dynamic viscosity  $\eta=2.23 \cdot 10^9$  kPa · s. This field value of the dynamic viscosity is free from limitations caused by the scale effect, the influence of disturbance when sampling and testing, and due to the little duration of laboratory investigations.

#### Acknowledgement

The Author is very grateful to M. Dysli for information concerning the creep rate of the Villarbeney landslide.

#### ԳՐԱԴԱՆՈՒԹՅՈՒՆ—ЛИТЕРАТУРА—REFERENCES

- Тер-Степанян Г. И. 1948. О влиянии формы и расположения частиц на процессе сдвига в грунтах.—Изв. АН АрмССР. Естеств. и техн. науки, т. I, № 2, с. 167—185.
- Тер-Степанян Г. И. 1976. Исследование ползучести глины при сдвиге.—Проблемы геомеханики, Ереван, № 7, с. 18—49.
- Тер-Степанян Г. И., Симонян С. С., 1982. Применение результатов обратных реологических расчетов к определению устойчивости и деформируемости склонов.—Проблемы геомеханики, Ереван, № 8, с. 75—89.
- Dysli M., Recordon E., 1981. Fluage des formations argileuses Alpines.—Comptes rendues du Dixième Congrès Internationale de Mécanique des Sols et des Travaux de Fondations, Stockholm, v. 3, p. 395—400.
- Dysli M. 1984. Communication personnelle de 19 juillet 1984.
- Ter-Stepanian G. 1936. On the influence of the scale-like shape of clay particles on the process of shear in soils.—Proc. [First] Intern. Conf. Soil Mech. Found. Engg., Harvard Cambridge, Mass., vol. 11, p. 112—116.
- Ter-Stepanian G. 1975. Creep of a clay during shear and its rheological model. Géotechnique, v. 25, no 2, p. 299—320.
- Ter-Stepanian G. 1982. Discussion on Creep in Alpine Clayey Formations. Proc. Tenth Intern. Conf. Soil Mech. Found. Engg., Stockholm, 1981, v. 4, p. 923—924.
- Ter-Stepanian G., Simonian S. S. 1978. Application of results of rheological back analyses for determination of the slope stability and deformability. Proc. Third Intern. Congress Eng. Geol., Madrid, pp. 189—196.
- Terzaghi K., 1931. Static rigidity of plastic clays. Journ. of Rheology vol. 2, no. 3
- Yen B. C., 1969. Stability of slopes undergoing creep deformations. Journ. Soil Mech. Found. Div., ASCE, SM4.