

МЕХАНИКА ГРУНТОВ

Д. Б. САРКИСЯН

О СТРУКТУРНО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВАХ
НИЖНЕЧЕТВЕРТИЧНЫХ ГЛИНИСТЫХ ПОРОД ЛЕНИНА-
КАНСКОЙ КОТЛОВИНЫ

Для исследования инженерно-геологических свойств глинистых пород озерной толщи Ленинанканской котловины нами отобраны монолиты из шурфов в Ленинанканском карьере глин (западная окраина гор. Ленинанкана, обр. 4600), в районе с. Ахурик (обр. 4614) и у пограничного моста (обр. 4615).

Изучение структурно-механических свойств глин проводилось в лаборатории инженерной геологии ЛГГП под руководством И. М. Горьковой.

Структурно-механические (деформационные и прочностные) свойства позволяют измерять такие количественные показатели этих свойств, какими являются модули упругости, вязкости, условные границы напряжения, пределы текучести, прочность структуры, а также при помощи этих величин могут быть вычислены эластичность (λ), период релаксации (Θ сек.) и т. д.

Предварительные исследования структурно-механических свойств изучаемых образцов проводились на глинах с естественной структурой и их пастах, полученных затворением глинистого порошка в дистиллированной воде.

Изучение кинетики развития деформации при различных постоянных напряжениях сдвига и спада деформации после мгновенной разгрузки проводилось в случае естественных структур на приборе Маслова, а в случае паст — по методу П. А. Ребиндера (1956) на приборе Толстого, основанному на сдвиг в достаточно узком зазоре между двумя пластинками ($h = 4-5$ мм), тангенциально смещаемыми друг относительно друга при деформации (срыва) образца. Этот прибор дает возможность исследовать достаточно малые деформации.

На наш взгляд недостатком прибора Толстого является то обстоятельство, что при более или менее ощутимой деформации (когда отсчет равняется 20 и более делениям шкалы) железная нить, при помощи которой берется отсчет, выходит из фокуса и повторное фокусирование может исказить величину истинной деформации.

Исследование структурно-механических свойств проводилось при двух характерных влажностях — влажность близ естественной и влажность границы текучести.

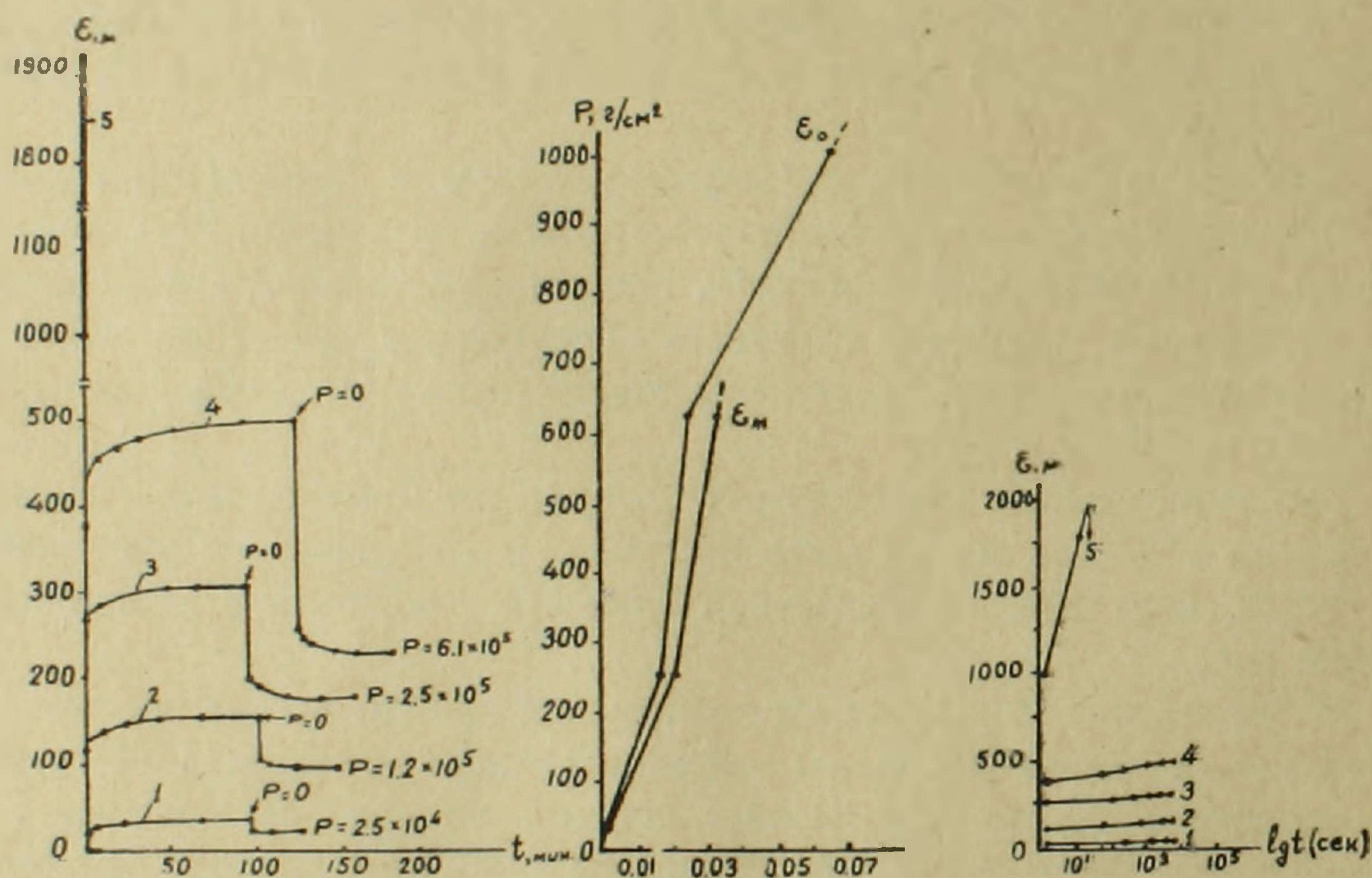
При постоянно заданном напряжении сдвига (P) измерялось нарастание деформации сдвига E во времени до достижения постоянной скорости $dE/dt = \text{const}$ (или по терминологии П. А. Ребиндера до «выхода на прямую»), после чего производилась разгрузка ($P=0$). Тогда наблюдался спад условно-мгновенной (упругой) деформации и постоянный спад замедленной (эластической) деформации. После разгрузки, во времени, деформация достигает постоянной величины — остаточная деформация, при помощи которой подсчитывается вязкость (η , пуаз).

По полученным семействам кривых кинетики развития деформации при постоянных напряжениях сдвига и спада деформации после разгрузки рассчитаны все величины, характеризующие структурно-механические свойства исследуемых глинистых пород (фиг. 1, 2, табл. I)

где E_1 — условно-мгновенный модуль упругости,

E — равновесный модуль упругости,

E_2 — эластический модуль упругости.



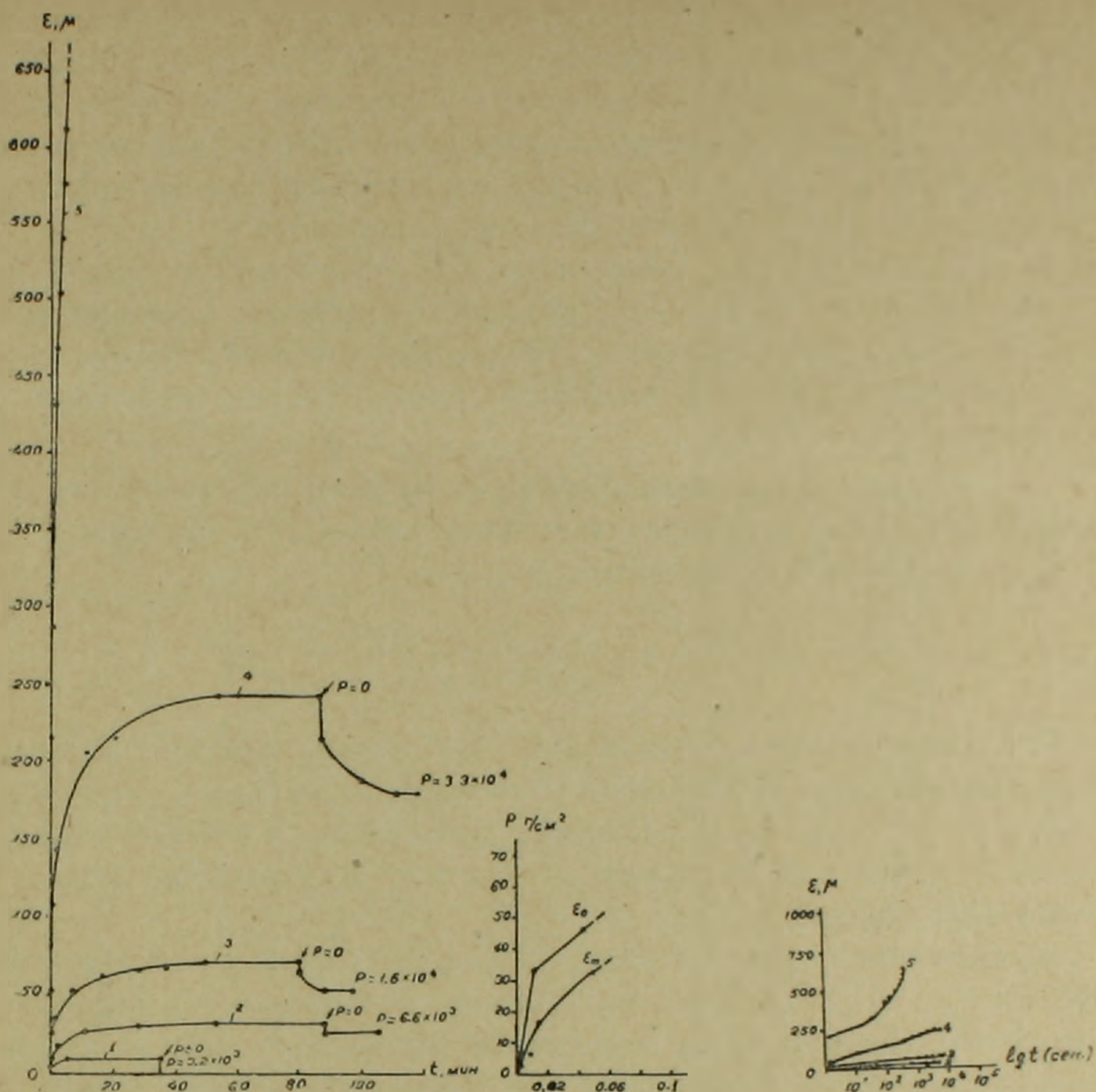
Фиг. 1.

Кинетика развития деформации при постоянных напряжениях сдвига и спада деформации после мгновенной разгрузки для образца 4600 естественной структуры Ленинанканской глины:

1. $P = 25 \text{ г/см}^2$; $W = 36,86\%$
2. $P = 125 \text{ г/см}^2$; $W = 34,84\%$
3. $P = 250 \text{ г/см}^2$; $W = 34,85\%$
4. $P = 625 \text{ г/см}^2$; $W = 38,20\%$
5. $P = 1000 \text{ г/см}^2$; $W = 32,04\%$

Зависимость условно-мгновенной (E_0) и наибольшей упругой (E_m) деформаций от напряжения сдвига.

То же в логарифмическом масштабе.



Фиг. 2.

Кинетика развития доформации при постоянных напряжениях сдвига и спада деформации после мгновенной разгрузки для образца 4600 нарушенной структуры:

1. $P = 3,3 \text{ г/см}^2$; $W = 79,39\%$
2. $P = 6,7 \text{ г/см}^2$; $W = 78,49\%$
3. $P = 16,7 \text{ г/см}^2$; $W = 78,01\%$
4. $P = 33,3 \text{ г/см}^2$; $W = 77,09\%$
5. $P = 46,7 \text{ г/см}^2$; $W = 77,43\%$

Зависимость условно-мгновенной (E_0) и наибольшей упругой (E_m) деформаций от напряжения сдвига.

То же в логарифмическом масштабе.

Сравнение кривых развития деформации исследованных образцов естественной структуры и паст, при влажности, близ естественной, позволяет их разделить на два типа:

I тип. К этому типу относятся пасты Ленинканской глины (обр. 4600), у которой, кроме начального напряжения сдвига ($P = 13,6 \text{ г/см}^2$), при разгрузке наблюдается почти мгновенный (в течение 5—10 сек.) полный спад деформации, структура восстанавливается и она по своим свойствам приближается к упруго-хрупким образованиям.

II тип. Ко второму типу относятся все исследуемые образцы естественной структуры и пасты образцов 4614 и 4615. При всех напряжениях сдвига этот тип отличается способностью к развитию остаточных деформаций после разгрузки, вследствие чего стало возможным считать модуль упругости по разгрузке, который, как правило, больше модуля упругости, рассчитанного по ветви развития деформации.

Вышеуказанный факт (увеличение E и упрочнение системы), но с большей разницей между E —разгрузка и E —нагрузка, отмечают также И. М. Горькова и К. Н. Рябичева (1959), который объясняется уплотнением и ориентацией частиц в плоскости сдвига образцов по наибольшей площади соприкосновения.

При помощи определяемых непосредственным измерением величин деформации сдвига, вычислялось значение наибольшей предельной вязкости неразрушенной структуры по формуле:

$$\eta = \frac{P}{(dE/dt) m}$$

Исследуемые образцы отличаются достаточно высокой вязкостью (пасты имеют вязкость в среднем 10 порядка, а образцы с естественной структурой — 11 порядка) и обладают способностью к течению типа ползучести без заметного разрушения структуры, развивая при этом остаточные деформации.

Реологические свойства исследуемых глин с нарушенной структурой определялись на ротационном вискозиметре Воляровича с коаксальными цилиндрами, основанном на деформации однородного сдвига в узком зазоре между двумя цилиндрами, где деформации сдвига являются неограниченными и определяются числом оборотов внутреннего подвижного цилиндра, а предельное напряжение сдвига (предел текучести) и вязкость по расчетным формулам.

С помощью вискозиметрических определений получены значения статического (P_{k-1}) и динамического (P_{k-2}) пределов текучести, условной границы практически неразрушенной структуры (P_r), характеризующей переход от области течения глин с вязкостью ползучести к лавинному разрушению структуры, предела пластично-вязкого разрушения структуры P_r , вязкости близ предела текучести $\eta_{P_{k-1}}$, наименьшей вязкости практически предельно разрушенной структуры η_m и отношение $\eta_{P_{k-1}}/\eta_m$ (табл. 2; фиг. 3, 4).

Для всех образцов реологические свойства определялись при трех влажностях (W):

- 1) влажность ниже границы текучести;
- 2) влажность близ границы текучести и
- 3) влажность выше границы текучести.

По данным табл. 2 изученные глинистые пасты, по приведенной влажности (W/W_f) можно сгруппировать в двух типах.

К первому относятся пасты глин с приведенной влажностью от 0,83

Структурно-механические свойства исследуемых глинистых пород

Глубина взятия образца в м	W %	$\frac{W}{W_f}$	Структу- ра	P	E ₁	E	E ₂	λ	E, дин/см ² (по разгруз- ке)	η пуаз	Θ сек.
				дин/см ²							
				5	6	7	8				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Обр. 4600, гл. 2,5	43,97	0,57	Паста	1,3·10 ⁴	1,9·10 ⁷	2,1·10 ⁶	2,3·10 ⁶	0,90	1,2·10 ⁷	5,0·10 ¹⁰	2,4·10 ⁴
"	43,42	0,57	"	3,3·10 ⁴	9,1·10 ⁶	4,6·10 ⁶	9,1·10 ⁶	0,50	—	—	—
"	36,27	0,47	"	2,2·10 ⁵	6,1·10 ⁶	3,4·10 ⁶	7,6·10 ⁶	0,45	—	—	—
"	34,72	0,45	"	3,2·10 ⁵	8,0·10 ⁶	2,8·10 ⁶	4,2·10 ⁶	0,66	—	—	—
"	34,71	0,45	"	4,9·10 ⁵	6,8·10 ⁶	—	—	—	—	—	—
То же	79,39	1,04	"	3,2·10 ³	3,0·10 ⁶	1,8·10 ⁶	4,5·10 ⁶	0,40	—	—	—
"	78,49	1,03	"	6,6·10 ³	2,9·10 ⁶	8,1·10 ⁵	1,1·10 ⁶	0,73	4,9·10 ⁶	3,2·10 ¹⁰	3,9·10 ⁴
"	78,01	1,02	"	1,6·10 ⁴	3,0·10 ⁶	1,1·10 ⁶	1,8·10 ⁶	0,63	1,2·10 ⁷	2,4·10 ¹⁰	2,2·10 ⁴
"	77,09	1,01	"	3,3·10 ⁴	3,0·10 ⁶	6,7·10 ⁵	8,6·10 ⁵	0,77	6,1·10 ⁶	1,7·10 ¹⁰	2,5·10 ⁴
"	77,43	1,01	"	4,6·10 ⁴	1,1·10 ⁶	—	—	—	—	—	—
Обр. 4614, гл. 3,0	70,72	0,77	"	1,4·10 ⁴	1,6·10 ⁷	6,4·10 ⁶	1,1·10 ⁷	0,59	—	—	—
"	69,96	0,76	"	2,3·10 ⁴	5,1·10 ⁶	2,5·10 ⁶	5,1·10 ⁶	0,50	2,5·10 ⁷	6,4·10 ¹⁰	2,6·10 ⁴
"	69,39	0,75	"	3,3·10 ⁴	4,8·10 ⁶	2,8·10 ⁶	6,5·10 ⁶	0,43	1,2·10 ⁷	5,9·10 ¹¹	2,1·10 ⁵
"	68,90	0,75	"	6,5·10 ⁴	6,1·10 ⁶	2,3·10 ⁶	3,6·10 ⁶	0,63	9,1·10 ⁶	3,0·10 ¹⁰	1,3·10 ⁴
"	67,11	0,73	"	1,3·10 ⁵	3,6·10 ⁶	—	—	—	—	—	—
То же	90,82	0,99	"	6,6·10 ³	9,1·10 ⁶	1,5·10 ⁶	1,8·10 ⁶	0,84	—	—	—
"	90,93	0,99	"	1,3·10 ⁴	2,5·10 ⁶	9,3·10 ⁵	1,5·10 ⁶	0,63	7,4·10 ⁶	2,5·10 ¹¹	2,7·10 ⁵
"	92,98	1,01	"	3,3·10 ⁴	1,5·10 ⁶	4,1·10 ⁵	5,7·10 ⁵	0,72	2,3·10 ⁶	1,7·10 ¹⁰	4,1·10 ⁴
"	90,02	0,98	"	4,6·10 ⁴	1,8·10 ⁶	—	—	—	—	—	—
Обр. 4615, гл. 1,5	45,93	0,55	"	1,3·10 ⁴	1,9·10 ⁷	2,3·10 ⁶	2,6·10 ⁶	0,88	3,7·10 ⁷	1,1·10 ¹¹	4,8·10 ⁴
"	44,16	0,53	"	1,3·10 ⁵	1,8·10 ⁶	8,1·10 ⁵	1,5·10 ⁶	0,55	3,4·10 ⁶	1,1·10 ¹⁰	1,4·10 ⁴
"	43,22	0,52	"	2,0·10 ⁵	2,5·10 ⁶	—	—	—	—	—	—

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Обр. 4615, гл. 1,5	78,96	0,94	Паста	$6,6 \cdot 10^1$	$7,3 \cdot 10^6$	$9,7 \cdot 10^5$	$1,1 \cdot 10^6$	0,87	$4,9 \cdot 10^6$	$1,4 \cdot 10^{10}$	$1,4 \cdot 10^4$
"	78,89	0,94	"	$2,0 \cdot 10^1$	$2,2 \cdot 10^6$	$5,8 \cdot 10^6$	$7,9 \cdot 10^5$	0,74	$2,9 \cdot 10^6$	$5,1 \cdot 10^9$	$8,8 \cdot 10^2$
"	77,59	0,93	"	$3,3 \cdot 10^1$	$3,0 \cdot 10^6$	$9,1 \cdot 10^5$	$1,3 \cdot 10^6$	0,70	$1,7 \cdot 10^6$	$6,8 \cdot 10^9$	$7,5 \cdot 10^2$
"	78,79	0,94	"	$4,6 \cdot 10^1$	$2,1 \cdot 10^6$	—	—	—	—	—	—
Обр. 4600, гл. 2,5	36,86	0,48	Ест.	$2,5 \cdot 10^4$	$1,8 \cdot 10^7$	$1,1 \cdot 10^7$	$2,5 \cdot 10^7$	0,42	$3,1 \cdot 10^7$	$1,6 \cdot 10^{11}$	$1,5 \cdot 10^4$
"	34,84	0,46	"	$1,2 \cdot 10^5$	$1,6 \cdot 10^7$	$1,2 \cdot 10^7$	$4,5 \cdot 10^7$	0,27	$3,5 \cdot 10^7$	$2,3 \cdot 10^{11}$	$1,9 \cdot 10^4$
"	34,85	0,46	"	$2,5 \cdot 10^5$	$1,4 \cdot 10^7$	$1,2 \cdot 10^7$	$9,0 \cdot 10^7$	0,14	$3,4 \cdot 10^7$	$2,4 \cdot 10^{11}$	$2,0 \cdot 10^4$
"	38,20	0,50	"	$6,1 \cdot 10^5$	$2,4 \cdot 10^7$	$1,8 \cdot 10^7$	$7,8 \cdot 10^7$	0,24	$3,8 \cdot 10^7$	$3,2 \cdot 10^{11}$	$1,8 \cdot 10^4$
"	32,04	0,42	"	$9,8 \cdot 10^5$	$1,5 \cdot 10^7$	—	—	—	—	—	—
Обр. 4614, гл. 3,0	33,48	0,36	"	$2,5 \cdot 10^4$	$3,1 \cdot 10^7$	$1,5 \cdot 10^7$	$3,1 \cdot 10^7$	0,50	—	—	—
"	34,62	0,38	"	$2,5 \cdot 10^5$	$7,7 \cdot 10^6$	$7,1 \cdot 10^6$	$9,7 \cdot 10^7$	0,07	$9,2 \cdot 10^6$	$8,3 \cdot 10^{10}$	$1,2 \cdot 10^4$
"	35,19	0,38	"	$6,1 \cdot 10^5$	$1,8 \cdot 10^7$	$1,0 \cdot 10^7$	$3,0 \cdot 10^7$	0,38	$1,8 \cdot 10^7$	$2,2 \cdot 10^{11}$	$2,2 \cdot 10^4$
"	32,48	0,35	"	$1,2 \cdot 10^6$	$2,0 \cdot 10^7$	—	—	—	—	—	—
Обр. 4615, гл. 1,5	34,27	0,41	"	$2,5 \cdot 10^4$	$2,0 \cdot 10^7$	$1,2 \cdot 10^7$	$2,8 \cdot 10^7$	0,42	$2,5 \cdot 10^7$	$1,5 \cdot 10^{11}$	$1,3 \cdot 10^4$
"	31,75	0,38	"	$2,5 \cdot 10^5$	$8,9 \cdot 10^6$	$7,5 \cdot 10^6$	$5,1 \cdot 10^7$	0,15	$1,1 \cdot 10^7$	$1,4 \cdot 10^{11}$	$1,9 \cdot 10^4$
"	31,13	0,37	"	$6,1 \cdot 10^5$	$1,7 \cdot 10^7$	$9,9 \cdot 10^6$	$2,4 \cdot 10^7$	0,42	$1,8 \cdot 10^7$	$2,8 \cdot 10^{11}$	$2,8 \cdot 10^4$
"	33,98	0,40	"	$1,2 \cdot 10^6$	$1,5 \cdot 10^7$	—	—	—	—	—	—

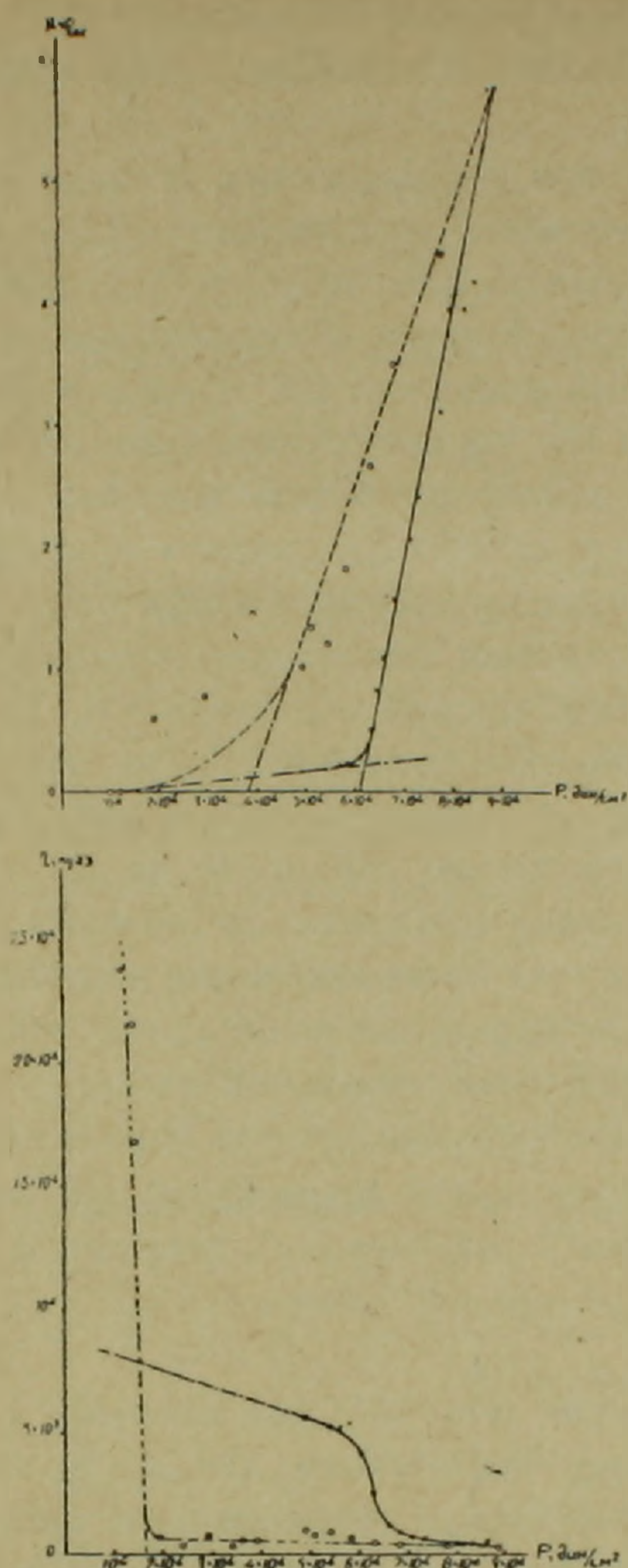
Некоторые реологические характеристики исследованных глинистых пород

Глубина взятия образца в м	W %	$\frac{W}{W_f}$	P_{k-1}	P_r	P_{k-2}	P_r	ηP_{k-1}	τ_{lm}	$\frac{\eta P_{k-1}}{\tau_{lm}}$	$\frac{P_r}{P_{k-1}}$
			дин/см ²				дин. сек/см ²			
Обр. 4600, гл. 2,5	70,91	0,93	$8,5 \cdot 10^4$	$9,5 \cdot 10^4$	$9,6 \cdot 10^4$	$1,2 \cdot 10^5$	$2,0 \cdot 10^3$	440,5	4,5	1,4
•	72,36	0,95	$1,0 \cdot 10^4$	$5,8 \cdot 10^4$	$6,1 \cdot 10^4$	$8,9 \cdot 10^4$	$8,2 \cdot 10^3$	189,0	48	8,9
•	81,25	1,06	$1,0 \cdot 10^4$	$3,6 \cdot 10^4$	$5,7 \cdot 10^4$	$6,7 \cdot 10^4$	$6,0 \cdot 10^3$	202,7	30	6,7
Обр. 4614, гл. 3,0	78,06	0,85	$3,7 \cdot 10^4$	$5,1 \cdot 10^4$	$5,3 \cdot 10^4$	$7,6 \cdot 10^4$	$1,4 \cdot 10^4$	263,7	53	2,3
•	87,67	0,95	—	—	$4,3 \cdot 10^4$	$5,3 \cdot 10^4$	—	363,6	—	—
•	100,16	1,09	—	—	$1,0 \cdot 10^4$	$1,1 \cdot 10^4$	—	91,0	—	—
Обр. 4615, гл. 1,5	69,26	0,83	$6,7 \cdot 10^4$	$8,0 \cdot 10^4$	$9,1 \cdot 10^4$	$1,1 \cdot 10^5$	$1,3 \cdot 10^4$	286,0	45	1,6
•	81,17	0,97	$3,4 \cdot 10^4$	$4,8 \cdot 10^4$	$4,9 \cdot 10^4$	$1,05 \cdot 10^5$	$1,1 \cdot 10^4$	187,0	59	3,1
•	93,01	1,11	$1,4 \cdot 10^4$	$3,0 \cdot 10^4$	$3,1 \cdot 10^4$	$5,1 \cdot 10^4$	$2,1 \cdot 10^4$	105,3	200	3,6

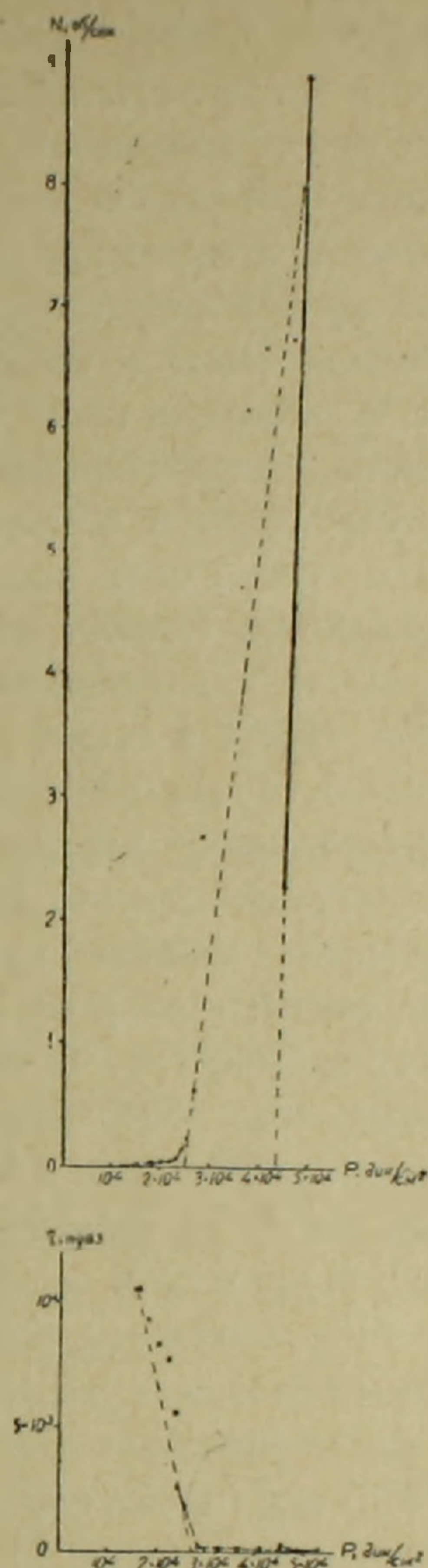
Таблица 3

Гранулометрический и микроагрегатный составы исследуемых глинистых пород

Глубина взятия образца в м	W %	Способ подготовки к анализу	С о д е р ж а н и е ф р а к ц и й, %						Порода по дорож- ной классифика- ции
			размер частиц, мм						
			> 0,1	0,1—0,05	0,05—0,01	0,01—0,005	0,005—0,001	> 0,001	
М и к р о а г р е г а т н ы й а н а л и з									
Обр. 4600, гл. 2,5	91,06	Растирание в дистиллирован- ной воде	3,03	6,86	21,59	15,38	53,14	7,65	Глина
Обр. 4614, гл. 3,0	88,25		0,47	2,75	28,48	15,29	25,36	27,65	Глина
Обр. 4615, гл. 1,5	96,27		0,22	3,40	18,31	16,58	6,21	55,28	Глина
Г р а н у л о м е т р и ч е с к и й а н а л и з									
Обр. 4600, гл. 2,5	52,12	Растирание + 10 мл пирофос- фата натрия	0,16	1,05	2,84	7,17	19,82	68,96	Глина
Обр. 4614, гл. 3,0	91,62	Растирание + 7 мл пирофос- фата натрия	0,16	2,40	11,13	8,29	25,07	52,95	Глина
Обр. 4615, гл. 1,5	77,93	То же	0,11	2,75	6,67	3,59	17,12	69,76	Глина



Фиг. 3. Реологическая кривая и зависимость эффективной вязкости от действующего напряжения О-ной глины (Ленинскан, обр. 4600, гл. 2,5 м; $W = 72,36\%$).



Фиг. 4. Реологическая кривая и зависимость эффективной вязкости от действующего напряжения О-ной глины (Ахурик, обр. 4614, гл. 3,0 м; $W = 87,67\%$).

до 0,97, что говорит о их пластичном состоянии. Значение условного предела текучести колеблется $(1,0—8,5) \cdot 10^4$ дин. см^{-2} , причем предел прочности превышает $P_{к-1}$ в 1,4—8,9 раз.

Величина наименьшей вязкости $\eta_m = 187,0—440,5$ пуаз, достигая минимального значения у обр. 4615 при влажности близ границы текучести.

Ко второму относятся пасты глин с приведенной влажностью от 1,06 до 1,11. Как правило, значения условного предела текучести $(1,0 \cdot 10^4—1,4 \cdot 10^4$ дин. см^{-2}) и предела прочности $(1,1 \cdot 10^4—6,7 \cdot 10^4$ дин. см^{-2}) этого типа малы по сравнению с первым. Предел прочности превышает условный предел текучести в 3,6—6,7 раз.

Пасты этого типа отличаются малыми значениями наименьшей вязкости τ_m (91,0—202,7), достигая минимального значения у обр. 4614 при влажности больше границы текучести.

Интересно поведение обр. 4614 при реологических исследованиях. Паста обр. 4614 как бы двойного поведения. При влажностях близ границы текучести и выше при нагрузке область близ предела P_{k-1} реологической кривой отсутствует и она представляет прямую линию, по которой можно считать только условный динамический предел текучести P_{k-2} , т. е. глинистая паста ведет себя как упруго-хрупкое тело. По нашему мнению, такое поведение пасты можно объяснить местным уплотнением структуры в плоскости сдвига за счет увеличения ориентации, действием коллоидных пленок кремнекислот, образующихся на поверхности силикатов (пленки делают возможным цементацию частиц глин), в особенности находящихся в высокодисперсном состоянии (И. В. Гребенщиков, 1937), а также неоднородностью дисперсной части обр. 4614 (содержание частиц $0,005—0,001=25,07$, а $<0,001 = 52,95$, см. табл. 3), которые увеличивают внутреннее сопротивление глинистой пасты приложенной нагрузки. Но, по мере увеличения приложенной нагрузки начинается сжатие глинистой массы, вследствие более или менее полного разрушения связей между частицами и дегидратации коллоидных пленок в контактах частиц, т. е. — хрупкое разрушение глинистой пасты.

Кривые обр. 4614 типичные реологические кривые упруго-пластических тел, на которых в некотором интервале напряжений $((0,7—4,8) \cdot 10^4 \text{ дин. см}^{-2})$ наблюдается лавинное разрушение структуры при переходе напряжений через условный предел текучести ($P \geq P_{k-2}$), а область P_{k-2} выражена прямой.

Таким образом, о двойном поведении обр. 4614 при нагрузке и разгрузке свидетельствует также характер деформации. По Л. А. Шрейнеру (1950) все горные породы по своим деформационным свойствам разделяются на три группы: 1) упруго-хрупкие, для которых характерно сохранение линейной зависимости между напряжением и деформацией до самого разрушения; 2) упруго-пластичные, для которых четко выделяются упругая и пластическая области деформации и 3) не дающие разрушения при вдавливании штампа.

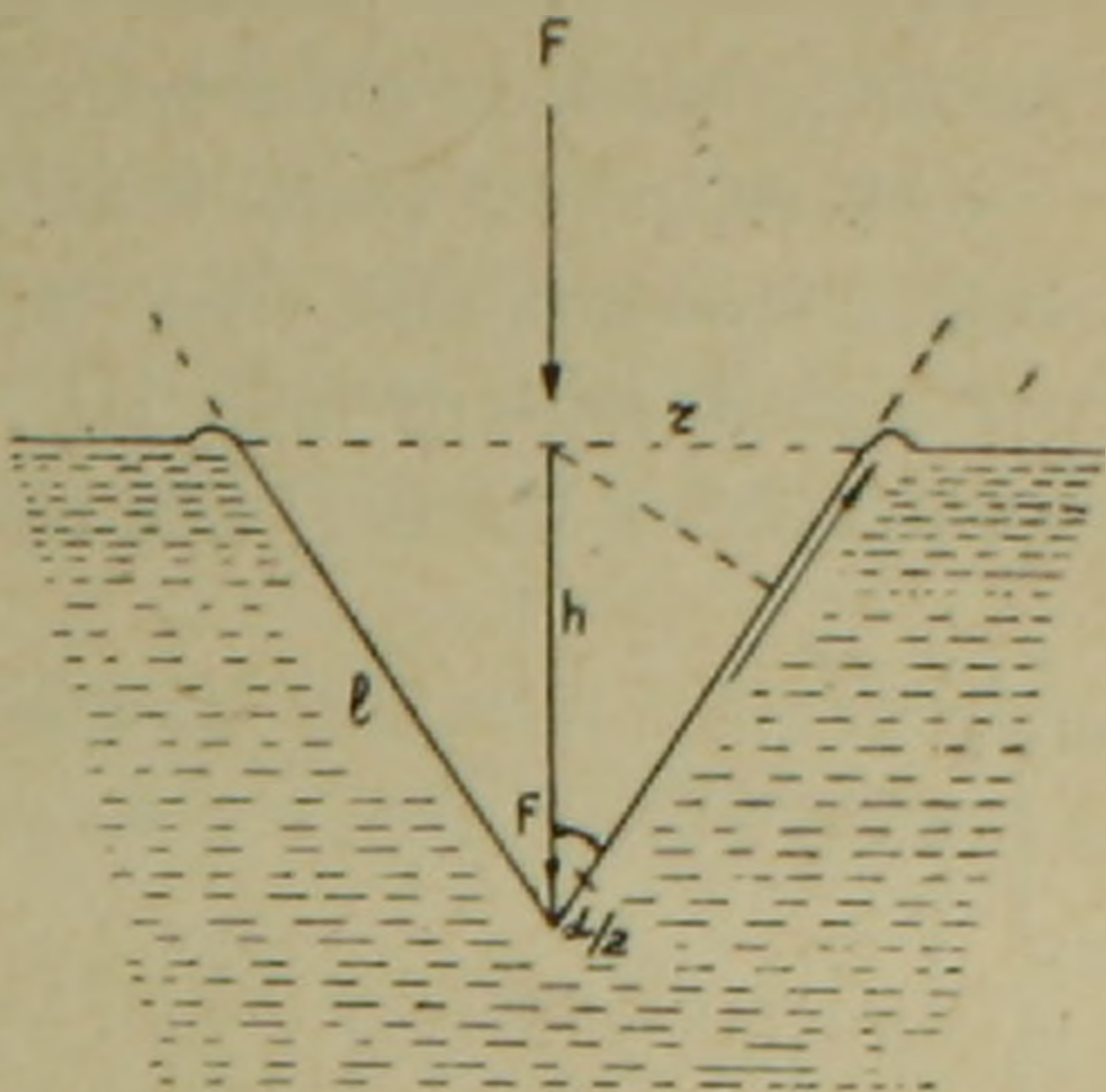
Для изучения структурно-механических свойств глин применялся метод конического пластометра П. А. Ребиндера, который дает возможность проводить измерения при малых деформациях сдвига, т. е. малых градиентах скорости.

Этот метод состоит в определении глубины погружения конуса в исследуемую систему под действием постоянной нагрузки F .

Величина пластической прочности P_m вычисляется по среднему погружению конуса h ср., вызываемому данной нагрузкой F , причем, погружение конуса вызывает выпирание вокруг него глинистой массы, вследствие чего напряжение сдвига P , вызывающее это течение, определяется проекцией, действующей на конус силы F на образующую конуса

l , отнесенную к единице площади соприкосновения конуса с глинистой массой S (фиг. 5)

$$P_m = \frac{F_1}{S} = \frac{F \cdot \cos \alpha/2}{\pi r \cdot l};$$
$$r = h \cdot \operatorname{tg} \alpha/2; \quad l = \frac{h}{\cos \alpha/2};$$
$$S = \pi r l = \pi h^2 \cdot \frac{\operatorname{tg} \alpha/2}{\cos \alpha/2};$$
$$P_m = \frac{F}{\pi h^2} \cdot \frac{\cos^2 \alpha/2}{\operatorname{tg} \alpha/2} = \frac{F}{h^2} \cdot \frac{1}{\pi} \cos^2 \alpha/2 \operatorname{ctg} \alpha/2;$$
$$P_m = K_\alpha \cdot \frac{E}{h_{\text{ср}}^2},$$



Фиг. 5.

где $K_\alpha = \frac{1}{\pi} \cdot \cos^2 \alpha/2 \cdot \operatorname{ctg} \alpha/2$ — константа конуса, зависящая только от угла α при его вершине.

Таблица 4

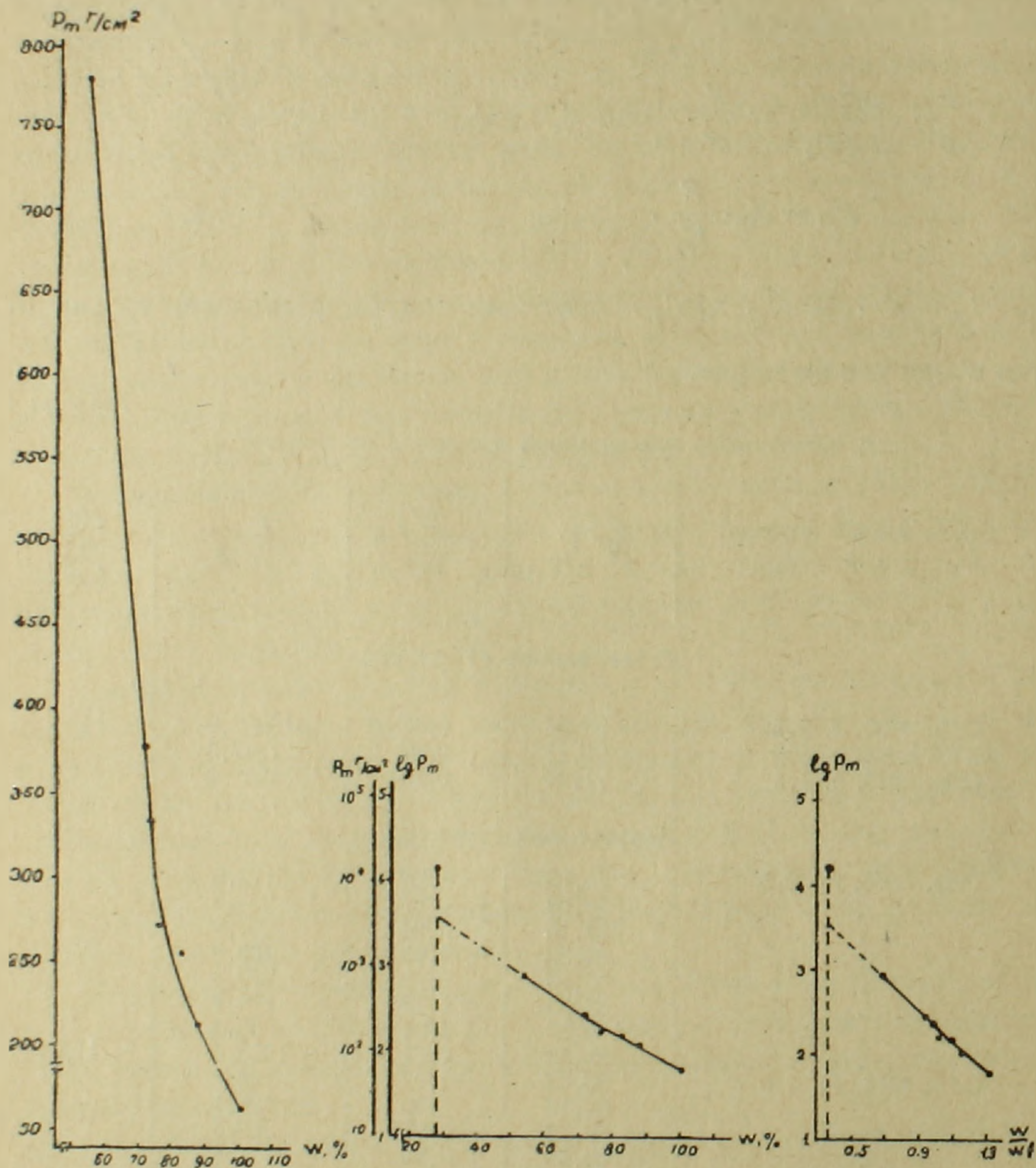
Зависимость пластической прочности от влажности

Глубина взятия образца в м	$W \%$	$\frac{W}{W_1}$	$\frac{\rho_m}{\Gamma/\text{см}^2}$	$\frac{\rho_{\text{ест.}}}{\rho_{\text{нар.}}}$
Естественная структура				
Обр. 4600, л. 2,5	28,65	0,37	15592,3	
Обр. 4614, л. 3,0	61,41	0,67	7443,9	
Обр. 4614, л. 1,5	27,48	0,33	31933,3	
Нарушенная структура				
Обр. 4600, гл. 2,5	76,65	1,00	172,6	11,34
"	73,95	0,97	233,8	
"	72,15	0,94	277,9	
"	82,59	1,08	155,6	
"	53,73	0,70	779,8	
"	87,95	1,15	114,1	
"	100,39	1,31	63,5	
"	28,50	0,37	1375,0	
Обр. 4614, гл. 3,0	93,41	1,02	166,0	
"	92,10	1,00	178,1	
"	89,52	0,97	209,3	10,77
"	69,48	0,76	554,2	
"	100,11	1,09	107,7	
"	108,59	1,18	108,6	
"	61,50	0,67	691,0	
Обр. 4615, гл. 1,5	75,64	0,90	183,1	
"	39,04	0,47	2375,2	
"	51,63	0,62	804,3	
"	49,85	0,60	916,5	
"	81,76	0,98	167,9	
"	66,38	0,79	255,3	
"	27,50	0,33	3700,3	

Достоинством конического метода является то, что он позволяет получить характеристику глин в большом диапазоне влажностей.

Сравнение полученных данных показывает, что пасты изученных глин по прочности отличаются меньше, чем естественные структуры.

Как видно из табл. 4 естественная структура отличается значительно большей прочностью, чем паста при близких влажностях (чувствительность колеблется от 8,63 до 11,34), причем, чем выше в глинах содержание глинистых частиц, тем прочнее глина.



Фиг. 6.

Зависимость пластической прочности пасты обр. 4600 от влажности.

Зависимость пластической прочности пасты и естественной структуры (верхняя точка) обр. 4600 от влажности.

Зависимость пластической прочности пасты и естественной структуры (верхняя точка) от относительной влажности.

Действительно, для обр. 4600 (фиг. 6) содержание фракции $<0,001$ мм равняется 68,96% и для обр. 4615—69,76%, соответственно пластическая прочность равняется для обр. 4600 $15,59 \text{ кг/см}^2$ (естественная структура) и $1,38 \text{ кг/см}^2$ (нарушенная структура), для обр. 4615— $31,93 \text{ кг/см}^2$ (естественная структура) и $3,70 \text{ кг/см}^2$ (нарушенная структура), а для обр. 4614 содержание фракции $<0,001$ мм—52,95% и имеет меньшую пластическую прочность— $7,44 \text{ кг/см}^2$ (естественная структура) (и 691 г/см^2) (нарушенная структура).

Из вышеизложенного ясно, что при нарушении структуры прочность глинистых пород резко падает, на что необходимо обратить внимание в инженерно-геологической практике.

В ы в о д ы

Исследованные глинистые породы по дорожной классификации являются типичными глинами с высоким содержанием глинистых частиц.

Они относятся к группе высокопластичных глин с числом пластичности от 36,2 до 44,4.

На основании кинетики развития деформации исследованных образцов, при влажности близ естественной, их можно разделить на два типа:

I т и п. Для этого типа, в основном, при разгрузке характерен почти мгновенный (в течение 5—10 сек.) полный спад деформации, структура восстанавливается и напоминает упруго-хрупкое тело.

II т и п. Характеризуется наличием остаточных деформаций после разгрузки.

Исследуемые образцы естественной структуры имеют вязкость 11 порядка, нарушенной структуры — 10 порядка и обладают способностью к течению типа ползучести без заметного разрушения структуры, развивая остаточные деформации.

По данным реологических исследований глинистые пасты по приведенной влажности сгруппированы в двух типах:

1. С приведенной влажностью от 0,83 до 0,97, для которого $P_{k-1} = (1,0—8,5) \cdot 10^4 \text{ дин. см}^{-2}$ причем предел прочности P , превышает P_{k-1} в 1,4—8,9 раз, а $\eta_m = 187,0—440,4$ пуаз.

2. С приведенной влажностью от 1,06 до 1,11, но с малыми значениями P_{k-1} и P , по сравнению с первым, а также η_m (91,0—202,7 пуаз).

Характер реологических кривых обр. 4614 говорит о его двойном поведении: при нагрузке он себя ведет как упруго-хрупкое тело, а при разгрузке — как типичное упруго-пластичное тело. Такое поведение объясняется местным уплотнением структуры в плоскости сдвига при деформации, действием коллоидных пленок кремнекислот, неоднородностью дисперсной части породы, интенсивность проявления которых зависит, в основном, от условий образования породы и влагосодержания.

Изучение пластической прочности на пластометре П. А. Ребиндера показало, что пасты исследованных глин по прочности меньше различа-

ются, чем естественные структуры (см. табл. 4), причем, чем выше в глинах содержание глинистых частиц, тем прочнее глина.

Институт геологических наук
АН Армянской ССР
Лаборатория гидрогеологических
проблем АН СССР

Поступила 15.I.1961.

Գ. Բ. ՍԱՐԿՅԱՆ

ԼՆՆԻՆԱԿԱՆԻ ԴԱՇՏԱՎԱՅՐԻ ՍՏՈՐԻՆ ՉՈՐՐՈՐԴԱԿԱՆ ԿԱՎԱՅԻՆ ԱՊԱՐՆԵՐԻ ՍՏՐՈՒԿՏՈՒՐԱ-ՄԵԽԱՆԻԿԱԿԱՆ ՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՄԱՍԻՆ

Ա. մ. փ. ո. փ. ո. լ. մ.

Լենինականի դաշտավայրի կավերի ստրուկտուրա-մեխանիկական հատկությունների ուսումնասիրությունը կատարվել է ՍՍՌՄ ԳԱ Հիդրոերկրաբանական պրոբլեմների լաբորատորիայի ինժեներական երկրաբանության լաբորատորիայում Ի. Մ. Գորկովայի ղեկավարությամբ:

Հետազոտվող կավային ապարները ըստ ճանապարհային դասակարգման հանդիսանում են տիպիկ կավեր կավային մասնիկների բարձր պարունակությամբ: Նրանք դասվում են բարձր պլաստիկությամբ կավերի խմբին՝ 36,2—44,4 պլաստիկության թվով:

Հետազոտվող նմուշների ստրուկտուրա-մեխանիկական հատկությունների նախնական ուսումնասիրությունը կատարվել է բնական ստրուկտուրայով կավերի և նրանց պաստանների վրա, որոնք ստացվում էին կավային փոշին թորած ջրում շաղախելով:

Դեֆորմացիայի փոփոխման կինեմատիկայի ուսումնասիրությունը տեղաշարժի տարբեր հաստատուն լարվածությունների և ակնթարթային բեռնաթափումից հետո դեֆորմացիայի անկման պայմաններում կատարվել է բնական ստրուկտուրաների դեպքում Մասլովի գործիքի վրա, իսկ պաստանների դեպքում՝ Տոլստոյի գործիքի վրա Ռեբինդերի (1956) մեթոդով:

Ստացված կորերով հաշվված են բոլոր այն մեծությունները, որոնք բնորոշում են հետազոտվող կավային ապարների ստրուկտուրա-մեխանիկական հատկությունները (տես աղյուսակ 1):

Բնական խոնավությանը մոտ խոնավության դեպքում դեֆորմացիայի փոփոխման կինեմատիկայի հիման վրա հետազոտվող նմուշները կարելի է բաժանել երկու տիպի՝

1 տիպ. — Այս տիպի համար, հիմնականում, բեռնաթափման դեպքում բնորոշ է համարյա ակնթարթային (5—10 վրկ. ընթացքում) դեֆորմացիայի լրիվ անկում, ստրուկտուրան վերականգնվում չէ և հիշեցնում է առաձգական-փխրուն մարմին:

2-րդ տիպ. — Բնորոշվում է բեռնաթափումից հետո մնացորդային դեֆորմացիայի առկայությամբ:

Հետազոտվող բնական ստրուկտուրայով նմուշները ունեն 11-րդ կարգի մածուցիկություն, խախտված ստրուկտուրայով՝ 10-րդ կարգի և ընդունակ են սողքի տիպի հոսման, զարգացնելով մնացորդային դեֆորմացիաներ:

Ուսումնասիրվող կավերի ռեոլոգիական հատկությունները (խախտված ստրուկտուրայով) որոշվել են վոլարովիչի ուստացիոն վիսկոզիմետրով, որով ստացվել են հոսման սահմանի (P_{k-1}) և դինամիկ (P_{k-2}) սահմանները, պրակտիկորեն չքայքայված ստրուկտուրայի պայմանական սահմանը (P_r), ստրուկտուրայի քայքայման պլաստիկ-մածուցիկության սահմանը (P_r) հոսման սահմանին մոտ մածուցիկությունը (p_{pk-1}), պրակտիկորեն լրիվ քայքայված ստրուկտուրայի մինիմալ մածուցիկությունը (p_m) և $p_{P_{k-1}}$ p_m հարաբերությունը (տես աղ. 2):

Բոլոր նմուշների համար ռեոլոգիական հատկությունները որոշվել են երեք խոնավությունների դեպքում՝

- 1) խոնավություն ցածր հոսման սահմանից,
- 2) խոնավություն բարձր հոսման սահմանից,
- 3) խոնավություն հոսման սահմանին մոտ:

Հստակ բերված խոնավության և ռեոլոգիական ուսումնասիրությունների տվյալների կավային ապարները խմբավորվում են երկու տիպում՝ 1) բերված խոնավությամբ 0,83-ից մինչև 0,97, որի համար $P_{k-1} = (1,0—8,5 \cdot 10^4$ դինամ⁻², ընդ որում ամրության սահման P_r մեծ է P_{k-1} -ից 1,4—8,9 անգամ, իսկ $P_r = 187,0—440,5$ պուազ, 2) բերված խոնավությամբ 1,06-ից մինչև 1,11, բայց P_{k-1} , P_r և p_m (91,0—202,8) ավելի փոքր արժեքներով, քան առաջինի մոտ:

4614 նմուշի ռեոլոգիական կորերի բնույթը խոսում է նրա երկակի վարքի մասին՝ բեռնավորման ժամանակ նա իրեն պահում է ինչպես առաձգական-փխրուն մարմին, իսկ բեռնաթափման ժամանակ՝ ինչպես տիպիկ առաձգական պլաստիկ մարմին: Նման վարքը բացատրվում է ստրուկտուրայի տեղական խտացումով տեղաշարժի հարթությունում, դեֆորմացիայի ընթացքում, սիլիկատների կոլոիդային թաղանթների ազդեցությամբ, ապարի դիսպերսիոն մասի անհամասեռությամբ, որոնց դրսևորման ինտենսիվությունը, հիմնականում, պայմանավորված է ապարի առաջացման պայմաններից և խոնավունակությունից:

Հետազոտվող նմուշների պլաստիկ ամրությունը (P_n) ուսումնասիրվել է Ռեբինդերի կոնական պլաստոմետրի (1949) միջոցով, որը թույլ է տալիս չափումներ կատարել տեղաշարժի շատ փոքր դեֆորմացիաների դեպքում: Այս ուսումնասիրությունները ցույց են տվել, որ հետազոտվող կավերի պլաստաները ամրությամբ քիչ են տարբերվում, քան բնական ստրուկտուրաները (տես աղյուսակ 4), ընդ որում որքան բարձր է կավերում կավային մասնիկների պարունակությունը, այնքան ամուր է կավը:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Горькова И. М. Закономерности изменения механических свойств глинистых пород в зависимости от влажности и структурного состояния. Труды ЛГГП, т. 14, 1957.
2. Горькова И. М., Душкина Н. А. и Рябичева К. Н. Структурно-механические свойства илов Черного моря и их изменение в процессе диагенеза. Труды ЛГГП, т. 22, 1959.
3. Горькова И. М. и Рябичева К. Н. Опыт изучения структурно-механических свойств некоторых глинистых пород. Труды ЛГГП, т. 22, 1959.
4. Гребенщиков И. В. Химические реакции на поверхности силикатов и их значение для техники. Изв. АН СССР, отд. техн. наук, № 1, 1937.

5. Михайлов Н. В. и Ребиндер П. А. Структурно-механические свойства дисперсных систем. Коллоидный журнал, т. 17, вып. 2, 1955.
6. Ребиндер П. А. Структурно-механические свойства глинистых пород и современные представления физико-химии коллоидов.
Труды совещания по инж.-геол. свойствам горных пород и методам их изучения, т. 1, М., Изд. АН СССР, 1956.
7. Шрейнер Л. А. Физические основы механики горных пород. Гостоптехиздат, 1950.