Записки Ленинградского ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова т. LXII, вып. 2, 1971 г.

О ДЛИТЕЛЬНОЙ ПРОЧНОСТИ И ПОЛЗУЧЕСТИ ИОЛЬДИЕВЫХ ГЛИН

А. В. Кузьмин

Вопрос о связи проявлений ползучести глинистых пород с условиями формирования их физико-механических свойств и характером природы структурных связей остается слабо изученным. Наиболее полно исследованы в этом отношении лишь позднеледниковые ленточные отложения Ленинграда [2].

В статье приведены результаты экспериментальных исследований процессов ползучести и изменения прочности во времени иольдиевых глин, слагающих толщу мощностью более 40 *м* в долине р. Кемь. По инженерно-геологической классификации глинистых пород иольдиевые глины относятся к разностям малой степени литификации со всеми присущими для этих пород особенностями состояния и свойств [6, 7]. В геологическом разрезе рассматриваемого района выделено 3 зоны [5], в которых глины вследствие различной направленности и интенсивности процессов диагенеза и катагенеза приобрели своеобразные физико-механические свойства (табл. 1).

Таблица 1

Характеристика физических свойств иольдиевых глин

Показатель	Мощность зон, *м*		
	верхней (1—4) *	средней (5—10)	нижней (10—30)
Естественная влажность, %	30—60 (60)	80—130 (32)	60—80 (89)
Объемный вес, *Г/см*^{3}	1,64—1,80 (20)	1,40—1,53 (31)	1,53—1,70 (63)
Коэффициент пористости	1,47—1,20 (20)	3,32—2,47 (20)	2,26—1,67 (51)
Предел текучести, %	Не определен	60—75 (15)	42—60 (32)
Число пластичности	Не определено	30—46 (15)	18—30 (32)

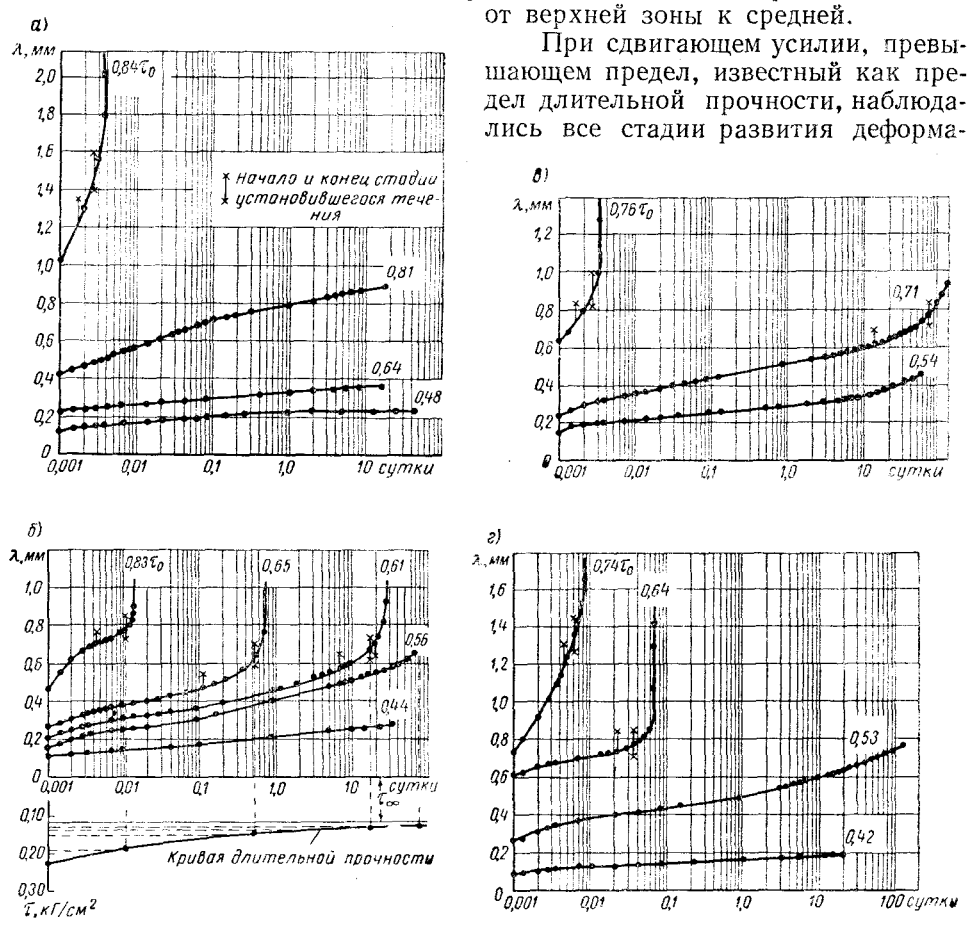
* В скобках указано число определений.

Основным при выборе методики испытаний глин естественного сложения было требование сохранения в них природных структурных связей [2, 3]. В работе применялись одноплоскостные срезные приборы с площадью среза 20 *см*^{2} и высотой образца 1,5 *см*. Длительная прочность и ползучесть иольдиевых глин исследовались по методике С. С. Вялова [1]

при нормальном давлении 0,3 *кГ/см*^{2}, близком к структурной прочности ильдиевых глин, поэтому физическое состояние их в процессе испытаний оставалось неизменным.

Всего было проведено 7 серий испытаний: 1 — в верхней зоне (первая серия); 3 — в средней (вторая—четвертая); 2 — в нижней (шестая—седьмая). Пятая серия испытаний проводилась в глинах переходного слоя от верхней зоны к средней.

При сдвигающем усилии, превышающем предел, известный как предел длительной прочности, наблюдались все стадии развития деформа-



Семейство кривых ползучести и кривая длительной прочности в глинах по зонам
а — верхней, *б* — средней, *в*, *г* — нижней при плоскости среза, соответственно, по напластованию и вкрест напластования

ций: стадия затухающей ползучести с уменьшающейся скоростью деформации, пластично-вязкого течения с постоянной скоростью и прогрессирующего течения, заканчивающегося разрушением образца по типу скола. При нагрузках, меньше предельных, процес развития деформации заканчивался стадией затухающей ползучести. Эксперименты прекращались при достижении скорости нарастания деформации $(1{,}67—6{,}7)\cdot 10^{-10}$ *см/сек*, при этом деформация полностью не затухала. Наибольшая продолжительность испытаний составляла 120 суток.

Анализ результатов (см. рисунок и табл. 2) показывает, что прочность ильдиевых глин снижается на 19—48% от значения условно-мгновенной прочности, наибольшее снижение происходит в глинах средней зоны.

Общими особенностями деформационного поведения ильдиевых

Таблица 2

Значения условно-мгновенной и длительной прочности иольдиевых глин

Серия испытаний	Глубина отбора монолита, *м*	Естественная влажность, %	Условно-мгновенная прочность τ_0, *кГ/см²*	Предел длительной прочности τ_∞		Снижение прочности от условно-мгновенной, %
				кГ/см²	% от условно-мгновенной	
Верхняя зона						
Первая	1,1	56	0,31	0,25	81	19
Средняя зона						
Вторая	3,0	78	0,37	0,23	62	38
Третья	3,0 *	110	0,23	0,12	52	48
Четвертая	5,0	82	0,28	0,18	64	36
Пятая	2,0	71	0,37	0,26	70	30
Нижняя зона						
Шестая	6,5	71	0,37	0,25	68	32
Седьмая	6,5 *	71	0,47	0,27	58	42

* Плоскость среза ориентирована вкрест напластования.

глин разных горизонтов являются малые величины деформаций λ, при которых происходит разрушение хрупкого характера. В большинстве экспериментов преобладают деформации на стадии затухающей ползучести, а при сдвигающих усилиях, мало отличающихся от условно-мгновенной прочности, — условно-мгновенные деформации. Наименьшее удельное значение имеет деформация на стадии установившейся ползучести. Продолжительность отдельных стадий определяется величиной действующей нагрузки: с приближением ее к величине условно-мгновенной прочности длительность их сокращается, а при некоторых значениях сдвигающих усилий практически существует лишь прогрессирующее течение, наступающее вслед за приложением нагрузки.

При уменьшении нагрузок в интервале между условно-мгновенной прочностью и пределом длительной прочности характер деформации изменяется не постепенно, а скачком: при незначительном изменении нагрузки продолжительность всех стадий резко возрастает, а скорость установившегося течения падает на 3—4 порядка. Такое развитие процесса ползучести характерно и для других типов глинистых пород [1].

Как видно из рисунка, процесс ползучести в глинах разных зон проявляется по-разному. Если в глинах верхней и нижней зон деформации ползучести развиваются по близким закономерностям, то в глине средней зоны этот процесс качественно отличается. В первом случае небольшое увеличение сдвигающих усилий относительно предела длительной прочности приводит к быстрому разрушению; весь процесс развития деформаций происходит практически в стадии прогрессирующего течения вслед за условно-мгновенной деформацией. В глинах средней зоны пластично-вязкое течение можно получить при нагрузках, значительно превышающих предел длительной прочности: течение характеризуется наибольшей условно-постоянной шведовской вязкостью, равной $(1—10)\cdot 10^{11}$ *пуаз*. Переход к бингамовскому типу течения с вязкостью $10^6—10^7$ *пауз* происходит при нагрузках, составляющих 81—84% от условно-мгновенных. В глинах нижней и верхней зон наблюдается практически лишь бингамов-

ский тип течения, начинающийся при величине касательных напряжений, очень близкой к пределу длительной прочности. Отличаются они лишь тем, что в глинах верхней зоны значение бингамовского предела текучести выше (81% от τ_0), чем в глинах нижней (70%), т. е. в последних прочность во времени снижается несколько больше.

При испытаниях глин нижней зоны вкрест напластования процесс ползучести развивается несколько по-иному, чем при ориентировании плоскости среза по напластованию, где все стадии ползучести проявляются в небольшом интервале напряжений, причем они непродолжительны. Это объясняется ориентировкой агрегатов в глинах нижней зоны, в связи с чем проявляется анизотропия свойств. Под действием сдвигающих усилий, значительно превышающих предел длительной прочности, частицы и агрегаты стремятся расположиться базальными плоскостями в направлении среза, а дальше деформация развивается так же, как и при ориентации плоскости среза по напластованию, что подтверждается практически одинаковыми значениями пределов длительной прочности (см. табл. 2). Явление переориентации приводит к появлению больших деформаций уже в первый момент после нагружения.

Различия в характере изменения прочности и деформационные особенности глин отдельных зон свидетельствуют о различии в них структурных связей, определяющих прочность пород. На стадии раннего диагенеза в осадке в результате геохимических процессов происходила цементация [4], что привело к образованию жестких хрупких малопрочных связей. В процессе последующего уплотнения с глубиной эти хрупкие связи разрушались, и преобладающую роль играли коагуляционные связи. Жесткие диагенетические связи сохранились только в верхних частях разреза, наименее пригруженных, слагающих современную среднюю зону глин. В верхней зоне, где процессы катагенеза начинались интенсивным выщелачиванием солей поверхностными водами, первоначально жесткие связи заменялись коагуляционными за счет аэрации и цементационными в результате окисления. Таким образом, жесткие связи играют большую или меньшую роль в каждой зоне, это выражается в том, что разрушение глин носит хрупко-пластический характер.

В процессе длительного воздействия сдвигающих усилий больше снижается прочность высоковлажных глин средней зоны, обусловленная в основном жесткими диагенетическими связями.

Это согласуется с положением Н. Н. Маслова [8, 9] о том, что снижение прочности обнаруживают породы с жесткими связями (сцеплением упрочения), которые необратимо нарушаются на участке проявления шведовской вязкости. В породах, где прочность обусловлена связями коагуляционного типа, при определенных значениях скорости деформации процесс разрушения их компенсируется восстановлением в силу присущей глинам тиксотропности, причем прочность глины в результате длительного развития деформации может повыситься. В тех случаях, когда процесс ползучести не привел к разрушению, прочность определялась дополнительной нагрузкой. В результате в глинах средней зоны упрочение не превышало 13% от условно-мгновенной прочности, тогда как в глинах нижней и верхней зон оно достигало 25—41%. Кроме того, различный характер связей подтверждается также экспериментами по изучению процессов ползучести на образцах глин средней зоны, уплотненных предварительно нормальным давлением, заведомо превышающим прочность их структурных связей. Последующие длительные испытания показали, что реологическое поведение глин средней зоны качественно не отличается от проявления ползучести глин нижней зоны.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вялов С. С. Длительная прочность грунтов. Тр. координационных совещаний по гидротехнике, вып. 38, 1968.

2. Дашко Р. Э. Деформационные особенности позднеледниковых ленточных отложений района Ленинграда. Авторефер. канд. дисс., ЛГИ, 1965.

3. Дашко Р. Э. О деформационных особенностях ленточных отложений при длительном испытании на сдвиг. Тр. Ленгидропроекта, № 2, 1965.

4. Деннисов Н. Я. Некоторые вопросы формирования строительных свойств слабых глинистых грунтов. В сб. «Слабые глинистые грунты». Госстрой ЭССР, 1965.

5. Кузьмин А. В. О сопротивлении сдвигу позднеледниковых морских (иольдиевых) глин. Докл. отделений и комиссий географич. об-ва СССР, вып. 14, 1969.

6. Ломтадзе В. Д. Стадии формирования свойств глинистых пород при их литификации. ДАН СССР, т. 102, № 4, 1955.

7. Ломтадзе В. Д. О формировании свойств глинистых пород. Зап. ЛГИ, т. XXXII, вып. 2, 1956.

8. Маслов Н. Н. Сопротивляемость глинистых грунтов сдвигу в неконсолидированном состоянии и вопросы ползучести. В сб. «Слабые глинистые грунты». Госстрой ЭССР, 1965.

9. Маслов Н. Н. Реологические явления в глинистых грунтах и их значение в деформации смещения и степени длительной устойчивости подпорных сооружений. Тр. координац. совещ. по гидротехнике, вып. 38, 1968.