Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им Г. В. Плеханова, т. XLVIII, вып. 2, 1965 г.

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЗДНЕЛЕДНИКОВЫХ ЛЕНТОЧНЫХ ГЛИН ОКРЕСТНОСТЕЙ ЛЕНИНГРАДА

В. Д. Ломтадзе

Распространение, стратиграфия и условия залегания. На территории Ленинграда, в его окрестностях, по долине р. Невы широко распространены позднеледниковые ленточные глины. Образование их происходило в приледниковом озерном бассейне, развивающемся по мере отступания ледника [2, 7]. В этих отложениях найдены остатки пресноводных рыб, по которым С. А. Яковлев отнес отложения к осадкам Рыбного озера [7].

Залегают ленточные глины почти непрерывной толщей мощностью 2—15 *м* на неровной поверхности моренных (вторая морена) или переходных от моренных к озерно-ледниковым отложениях. Местами они полностью размыты. В одном или двух местах на территории Ленинграда, на многих участках в его окрестностях и по долине р. Невы ленточные глины выходят непосредственно на поверхность. На остальной территории они лежат на разной глубине под отложениями послеледниковыми — литориновыми, древнебалтийскими или современными аллювиальными и озерно-болотными.

Ленточные глины служат основанием многочисленных гражданских и промышленных сооружений, часто вскрываются при строительных работах, кроме того, разрабатываются на многих карьерах и используются для производства кирпича. Изучением их занимаются давно различные организации [2, 7]. В инженерно-геологической лаборатории Ленинградского горного института физико-механические свойства этих глин исследуются с 1945 г.

Внешние признаки, текстура и структура. Отличительной особенностью ленточных глин является ясно выраженная ленточная текстура, обусловленная чередованием слоев глинистых с тонкопесчаными и пылеватыми. По текстуре ленточные глины можно подразделить на две основные разновидности: тонкослоистые, у которых тонкие слои глин (2—3 *мм*) чередуются с более толстыми песчано-пылеватыми слоями (4—6 *мм*), и толстослоистые, у которых толстые слои глин (5—6 *см*) чередуются с очень тонкими пылеватыми прослойками. Тонкослоистые разности обычно слагают верхние горизонты глин, а толстослоистые — нижние.

Окраска ленточных глин неоднородна. Верхние их горизонты обычно грязно-желтые, коричневатые, с мелкими охристыми пятнами, разводами и примазками. Ниже окраска становится более ровной, однородной шоколадно-коричневой, а еще ниже — голубовато-серой и серой. Там, где ленточные глины залегают непосредственно у поверхности земли, до глубины 1 *м*, они обычно сильно изменены почвенными процессами, отчего окраска их становится темно-бурой, а слоистость исчезает.

На кирпичных карьерах, расположенных в окрестностях Ленинграда, отдельным горизонтам ленточных глин даны следующие местные названия (сверху вниз): *краснуха*, средней мощностью 1,5—2 *м*; *синюха*, 2—3 *м*; *пластовка*, 2—3 *м*; *сизовка*, около 2 *м*. Под сизовкой, непосред-

ственно на морене, залегает синеватая очень однородная сильно пылеватая глина с редкими тонкими прослоями чистой пыли, носящая название *ил*.

Изменение окраски глин в вертикальном направлении сопровождается и некоторым изменением их состава. Верхние горизонты (краснуха) более песчанистые, нижние (синюха, пластовка и сизовка) более глинистые. В пластовке — толстослоистых ленточных глинах — наряду с общей высокой пылеватостью выделяются и хорошо прослеживаются тонкие светло-серые белесоватые прослои (до 15—20 *мм*) почти чистой пыли.

В местах, где ленточные глины частично или полностью размыты, разрез их начинается не с краснухи, а с синюхи, или даже пластовки и сизовки (в прибрежной зоне р. Невы или под ее руслом).

Под микроскопом видно, что глинистые ленты состоят из тонкодисперсной массы, окрашенной довольно равномерно в светло-буровато-желтый цвет, и лишь местами наблюдается некоторая пятнистость. В однородной изотропной глинистой массе видны редкие, неравномерно распределенные алевритовые угловатые зерна преимущественно кварцевого состава. Структура в основном пелитовая или алевропелитовая. Песчано-алевритовые ленты более неоднородны, структура их алевропелитовая, алевритовая или алевропсаммитовая.

В условиях естественного залегания ленточные глины чаще находятся в скрыто-текучем, реже пластичном состоянии. При нарушении естественного сложения они легко переходят в текучее состояние. По берегам р. Невы, в местах выхода ленточных глин на поверхность, в многочисленных кирпичных карьерах, вскрывших эти глины, они держат откосы 1 : 2 — 1 : 2,5. По этим откосам часто наблюдаются срывы и оползания отдельных блоков. Весной, когда ленточные глины интенсивно увлажняются, они легко размокают и по берегам Невы и на откосах карьеров образуют сплавы в виде глетчероподобных грязевых потоков. При высыхании откосы обычно покрываются сетью открытых зияющих трещин, глубоко уходящих в толщу глин. По системе трещин во многих местах из откосов образуются вывалы крупных блоков глин, отчего откосы становятся неровными: с нишами, нависающими карнизами и т. д.

Разработка ленточных глин в кирпичных карьерах ведется до верхней границы ила, который, имея всегда повышенную влажность, быстро оплывает.

Таким образом, внешние признаки, свойства и поведение в откосах ленточных глин весьма своеобразны.

Вещественный состав. Ленточные глины можно классифицировать как глины только условно — по текстурным признакам. Правильнее говорить о комплексе ленточных отложений, в составе которых встречаются глины, суглинки и супеси. Как видно из табл. 1, основная масса ленточных отложений в районе Ленинграда представлена суглинками. Собственно глины встречаются по всему разрезу, а супеси — преимущественно в нижних горизонтах. Среднее содержание глинистых частиц в толще ленточных глин достигает 36%, пылеватых — 56%, а песчаных — 5% (табл. 2). Содержание глинистых фракций может изменяться от 3 до 87%, а пылеватых — от 10 до 90%. Присутствие грубых песчаных фракций ничтожно. За пределами Ленинграда по долине р. Невы ленточные глины имеют более легкий состав (табл. 2).

Ленточные глины по содержанию пылеватых фракций повсеместно относятся к разностям пылеватым и сильно пылеватым, что и определяет их легкую размокаемость, размываемость и в известной мере низкое сопротивление сдвигу.

Минеральный состав ленточных глин изучен недостаточно. Единичные данные о составе их грубодисперсной части сведены в табл. 3, из ко-

торой видно, что во всех фракциях этой части преобладает кварц в виде зерен угловатой или слабо окатанной формы. Встречаются полевые шпаты и темноцветные минералы, реже — слюда и карбонаты. Пылеватая фракция ленточных отложений представлена также почти исключительно кварцем. Тонкодисперсная, коллоидная часть неоднородна. Преобладающим минералом является гидрослюда, присутствуют примеси органических веществ и иногда более активные в физико-химическом отношении минералы.

Таблица 1

Содержание глинистых частиц в ленточных отложениях

Содержание частиц 0,002 мм, %	Число определений из горизонтов	
	верхних	нижних
>30	114	115
30—20	110	117
20—15	113	111
15—10	114	113
10—6	—	111
6—3	—	—
Всего . . .	451	567

В химическом составе ленточных отложений устанавливается содержание SiO_2 50,4—69,12%, Al_2O_3 15,24—22,4%, Fe_2O_3 1,12—7,95%. Потери при прокаливании изменяются от 3,04 до 7,65%. Эти отложения можно отнести к малоглиноземистым разностям, слабо измененным химическим выветриванием.

Таким образом, ленточные отложения района по гранулометрическому составу относятся главным образом к легким разностям — суглинкам пылеватым или сильно пылеватым, а по минеральному составу тонкодисперсной части являются гидрослюдистыми.

Физико-механические свойства. Как уже отмечено, образование ленточных отложений происходило в обстановке постепенно расширяющегося приледникового озерного бассейна. Впоследствии режим этого озерного бассейна сменился морским (Иольдиевое море), затем озерным (Анциловое озеро) и вновь морским (Литориновое и Древнебалтийское моря). Следовательно, ленточные отложения определенное время после отложения продолжали оставаться на дне водных бассейнов и перекрывались более молодыми осадками небольшой мощности. Из-под уровня воды они вышли совсем недавно (около 1—1,5 тыс. лет до нашей эры [8]), но и сейчас на значительной площади лежат ниже уровня грунтовых вод. Таким образом, ленточные отложения — достаточно молодые образования, еще не подвергшиеся сколько-нибудь значительному гравитационному уплотнению. Литификация их по существу только началась [4, 5].

Таблица 2

Средний гранулометрический состав глин

Район	Содержание фракций, %		
	глинистых	пылеватых	песчаных
Ленинград . . .	36	56	5
р. Нева — Кривое колено	16	70	14

Физические свойства. Естественная влажность ленточных отложений изменяется в широких пределах, но в среднем достаточно высока (табл. 4, рис. 1). Для района Ленинграда в среднем она равна 35%, а для Кривого колена Невы в соответствии с более легким составом — несколько ниже 26%. Средние значения естественной влажности ленточных отложений значительно выше значений максимальной молекулярной влагоемкости. Следовательно, они в избытке содержат свободную иммобилизованную воду [3]. Естественная влажность их несколько уменьшается с глубиной, однако эти изменения выражены недостаточно четко, и на любых горизонтах можно встретить более увлажненные участки.

Удельный и объемный вес. Малая уплотненность и соответственно высокая естественная влажность определяют и низкие значения показателей плотности ленточных отложений. Как видно из табл. 5, удельный вес отложений нормальный и соответствует их составу. Объемный вес и объемный вес скелета для района Ленинграда характеризуются низкими значениями. В районе Кривого колена эти показатели выше. Возможно, исследовались разности более плотные и менее влажные, так как отбор монолитов из этих отложений очень затруднен неустойчивостью консистенции. Плотность отложений достаточно неоднородна, поэтому интервал изменений объемного веса от максимума до минимума велик.

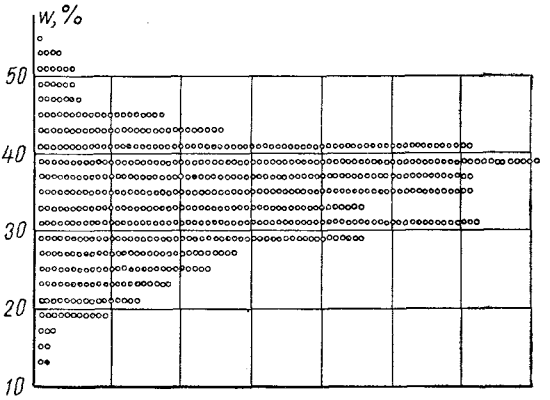


Рис. 1. Распределение естественной влажности ленточных глин.

Пористость. Малая уплотненность ленточных отложений подтверждается и высокими значениями пористости (табл. 6), характерными для типичных мягких разностей глинистых пород. Даже минимальные значения показателей пористости указывают на недостаточную уплотненность отложений.

Консистенция. В условиях естественного залегания ленточные отложение находятся в скрыто-текучем или пластичном состоянии. Степень пластичности их неодинакова, но в целом правильно отражает состав отложений, поэтому может быть одним из признаков классификации.

Таблица 3

Минеральный состав грубодисперсной части ленточных глин

Место взятия пробы	Размер фракций, *мм*	Минеральный состав отдельных фракций, %					
		Кварц	Полевой шпат	Слюда	Темноцветные минералы	Гранат	Карбонаты
Кривое колено, скв. 521, глубина 3,50—3,70 *м*	3—2	2 зерна	—	—	—	—	—
	2—1	4 зерна	—	—	—	—	2 зерна
	1—0,5	100	—	—	—	—	—
	0,5—0,25	80	20	—	—	—	—
	1,25—0,1	80	20	—	—	—	5
Кривое колено, скв. 539, глубина 10—10,15 *м*	5—3	1 зерно	—	—	2 зерна	—	—
	3—2	27	14	27	5	27	—
	2—1	74	10	—	11	5	—
	1—0,5	84	11	—	5	—	—
	0,5—0,25	90	5	—	4,5	—	0,5
	0,25—0,1	95	1	—	4	—	—
Нижнее Корчмино, скв. 1513, глубина 3—3,15 *м*	3—2	—	—	—	1 зерно	—	—
	2—1	100	—	—	—	—	—
	1—0,5	91	3	—	6	—	—
	0,5—0,25	96	0,5	—	3,5	—	—
	0,25—0,1	75	1	—	24	—	—

Из сравнительных данных табл. 7 видно, что влажность в большинстве случаев близка к пределу текучести или даже выше его. Следовательно, при нарушении естественного сложения отложения будут становиться вязкопластичными или текучими, что фактически и наблюдается при вскрытии ленточных отложений строительными котлованами, горными выработками и буровыми скважинами. Коллоидная активность глин мала, они просто неактивны. Высокая естественная влажность и мягкая консистенция их объясняется малой уплотненностью. Коэффициент естественной уплотненности близок нулю.

Таблица 4

Естественная влажность w ленточных отложений, %

Показатель	Ленинград (525 опред.)	Кривое колено Невы * (689 опред.)
Среднее арифметическое	35	26
Квадратическое отклонение	7,3	—
Медиана	35	27
Мода	39	28
Максимальное	44	32
Минимальное	24	18

* По данным Ленгидропроекта.

Водные свойства — размокание. Лабораторным исследованиям на размокание подвергались образцы естественного сложения и влажности. Скорость и характер размокания глин в воде неодинаковы. Разности, содержащие значительное число пылеватых прослоев, полностью распадаются в воде в течение часа, разрушение их начинается немедленно после погружения в воду. Разности, имеющие в переслаивании более мощные прослои глин, разрушаются несколько медленнее — в течение суток. Немедленно после погружения в воду осыпаются песчаные и пылеватые прослои, затем разламываются и постепенно сползают глинистые прослои.

Таблица 5

Удельный вес, объемный вес и объемный вес скелета ленточных отложений

Показатель	Удельный вес, г/см³		Объемный вес, г/см³		Объемный вес скелета, г/см³	
	Ленинград (55 опред.)	Кривое колено Невы (24 опред.)	Ленинград (150 опред.)	Кривое колено Невы (24 опред.)	Ленинград (149 опред.)	Кривое колено Невы (23 опред.)
Среднее арифметическое	2,72	2,69	1,89	2,01	1,43	1,63
Квадратическое отклонение	0,02	—	0,08	—	0,14	—
Медиана	2,73	—	1,89	2,02	1,41	1,69
Мода	2,73	—	1,89	—	1,38	—
Максимальное	2,76	2,75	2,02	2,17	1,64	1,83
Минимальное	2,68	2,67	1,80	1,85	1,28	1,35

Данные лабораторных и полевых исследований указывают на то, что ленточные глины являются водонеустойчивыми, размокают быстро, в откосах при увлажнении обычно образуют сплавы, глетчерообразные потоки и другие формы деформаций.

Механические свойства. Сжимаемость ленточных глин повышена, коэффициент сжатия в пределах нагрузок от 0 до 2 $кГ/см^2$ изменяется от 0,001 до 0,180 $кГ/см^2$ и в среднем равен 0,047 $кГ/см^2$ (табл. 8). Относительное сжатие ленточных глин при нагрузке 2 $кГ/см^2$ в среднем достигает 4,73%, а при нагрузке 5 $кГ/см^2$ — 7,76%. По сжимаемости они достаточно неоднородны, поэтому интервал изменений показателей ком-

Таблица 6

Пористость и коэффициент пористости ленточных отложений

Показатель	Пористость, %		Коэффициент пористости	
	Ленинград (53 опред.)	Кривое колено Невы (24 опред.)	Ленинград (53 опред.)	Кривое колено Невы (23 опред.)
Среднее арифметическое	47	38	0,91	0,57
Квадратическое отклонение	5,5	—	0,19	—
Медиана	49	40	0,93	0,65
Мода	49	—	0,93	—
Максимальное	54	57	1,14	0,85
Минимальное	38	32	0,64	0,47

Таблица 7

Пределы пластичности ленточных отложений

Показатель	Предел пластичности		Предел текучести		Число пластичности	
	Ленинград (47 опред.)	Кривое колено Невы (43 опред.)	Ленинград (77 опред.)	Кривое колено Невы (43 опред.)	Ленинград (77 опред.)	Кривое колено Невы (43 опред.)
Среднее арифметическое	20	19	32	28	11	9
Квадратическое отклонение	3,2	—	6,2	—	4,8	—
Медиана	19	—	33	—	11	—
Мода	19	—	33	—	11	—
Максимальное	24	24	40	46	18	19
Минимальное	16	14	22	18	4	3

прессионных свойств велик. Эффективная нагрузка для ленточных глин редко превышает 0,4—0,5 *кГ/см*^{2} и часто равна нулю. При нарушении естественного сложения сжимаемость глин увеличивается и интенсивно развивается, начиная с самых малых нагрузок (рис. 2, кривые *1*, *2*). При разгрузке глин, после предварительного уплотнения, обнаруживаются большие остаточные деформации (рис. 2, кривые *3*, *4*), несомненно, структурного характера. Так, например, осадка большого здания в Ленинграде развивалась более 10 лет и, по наблюдениям за всеми установленными реперами, в среднем достигла 30,1 *см* (рис. 3). Максимальная и минимальная осадки по отдельным реперам соответственно равны 35,4 и 26,8 *см*. Неравномерность осадки отдельных частей здания достигла 8,6 *см*, хотя нагрузка на глины была распределена равномерно и равна 1,5 *кГ/см*^{2}.

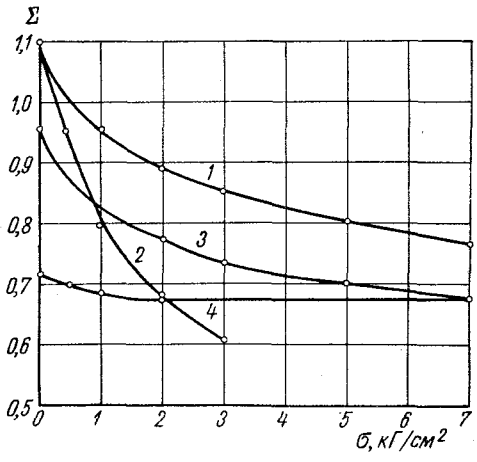


Рис. 2. Компрессионные кривые ленточных глин района Ленинграда.

1 — естественного сложения; *2* — нарушенного сложения (скв. 930 глубиной 11—11,3 *м*); *3* — уплотнения; *4* — разуплотнения (скв. 1207 глубиной 12,5—12,7 *м*).

Таким образом, большая и неравномерная сжимаемость ленточ-

ных глин обусловливает при проектировании сооружений осторожный подход к вопросу передачи на них нагрузки и обязательного сохранения их естественного сложения.

Сопротивление сдвигу ленточных глин мало. В интервале влажности, близкой к естественной, оно не обнаруживает значительных изменений (рис. 4), хотя несколько уменьшается при повышении влажности за счет ослабления сил сцепления (табл. 9).

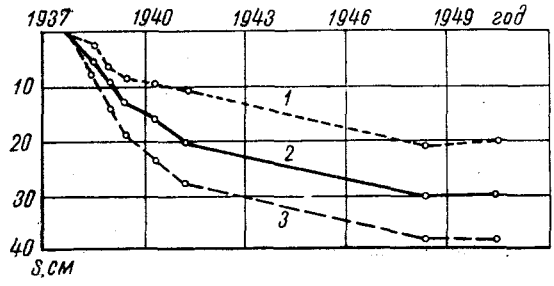


Рис. 3. Осадка здания, построенного в Ленинграде (1937—1949 гг.) на толще ленточных глин [1].

1 — минимальная; *2* — средняя; *3* — максимальная.

Угол внутреннего трения и сцепление *с* ленточных глин, соответствующие их средней естественной влажности, равны 21,5° и 0,05 *кГ/см*². Структурные связи в этих глинах преимущественно молекулярные, ослабленные избыточным содержанием свободной иммобилизованной воды [3]. При нарушении естественного сложения сопротивление глин сдвигу стремится к нулю.

Учитывая, что откосы с заложением 1 : 2 — 1 : 2,5 в ленточных глинах естественного залегания неустойчивы, для предварительного и перспективного проектирования при $c = 0{,}02$ *кГ/см*² необходимо, чтобы $\operatorname{tg}\varphi = 0{,}287$, $\varphi = 16°$.

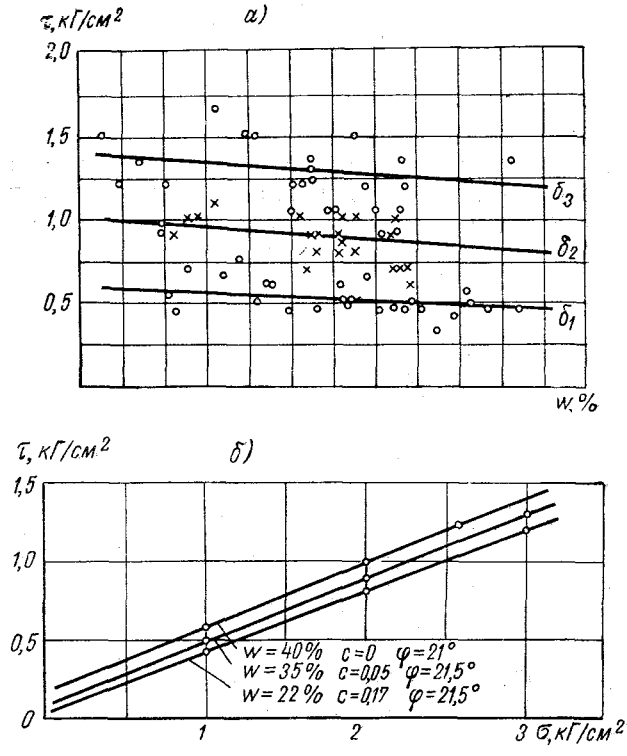


Рис. 4. Зависимость сопротивления ленточных глин сдвигу (опыты с образцами естественного сложения, с предварительным уплотнением под водой). *а* — от влажности; *б* — от нормальной нагрузки.

Таблица 8

Результаты испытаний на компрессию ленточных глин

Показатель	Коэффициент сжимаемости в интервале нагрузки, кГ/см²					Относительное сжатие в интервале нагрузки, кГ/см²				
	0,0—0,5 (18 опред.)	0,5—1 (25 опред.)	1—2 (14 опред.)	2—3 (25 опред.)	3—5 (17 опред.)	0,0—0,5 (21 опред.)	0,0—1,0 (25 опред.)	0,0—2,0 (14 опред.)	0,0—3,0 (25 опред.)	0,0—5,0 (22 опред.)
Среднее арифметическое	0,054	0,059	0,035	0,029	0,017	1,69	2,98	4,73	6,18	7,76
Максимальное . .	0,180	0,138	0,081	0,083	0,043	5,40	7,11	9,46	11,03	13,24
Минимальное . .	0,002	0,001	0,007	0,002	0,005	0,05	0,025	0,40	0,94	1,49

Таблица 9

Сопротивление сдвигу ленточных глин различной влажности

Влажность, %	Сдвигающее усилие при нормальных нагрузках, кГ/см²			tg φ	φ°	c, кГ/см²
	1	2	3			
22	0,425	0,800	1,175	0,384	21	0,02
35	0,475	0,875	1,275	0,400	21,5	0,05
40	0,575	0,975	1,370	0,400	21,5	0,17

Заключение

Позднеледниковые ленточные глины озерного происхождения являются пылеватыми разностями гидрослюдистого состава. Глинами их именовать можно только условно — по текстурным признакам. По гранулометрическому составу основная масса их классифицируется как суглинки, которые только местами переходят в глины, а в нижних горизонтах иногда и в супеси. Поэтому правильнее относить их к комплексу ленточных отложений, важной особенностью которых является четко выраженная тонкая слоистость — ленточность, обусловленная переслаиванием глинистых, пылеватых (алевритовых) и песчаных слоев. Окраска их неоднородна: в верхних горизонтах — серая, шоколадно-коричневая, буроватая, в нижних — серая с синеватым или голубоватым оттенком. Структура глинистых лент типично пелитовая, пылеватых и песчаных — алевритовая и псаммитовая.

Залегают ленточные глины сравнительно выдержанной толщей на обширной территории Приневской впадины. Характеризуются относительно высокой влажностью и пористостью и пониженной плотностью. Консистенция мягкая, пластичная или даже текучая. Обладают глины малой коллоидной активностью. Коэффициент естественной уплотненности имеет отрицательное значение. Они сильно и неоднородно сжимаемы, с низким сопротивлением сдвигу. При уплотнении обнаруживают значительные остаточные деформации структурного характера. Со строительной точки зрения являются грунтами слабыми.

При строительстве сооружений необходимо ограничивать на глины удельные нагрузки (до 1—1,5 *кГ/см²*) с обязательным сохранением их естественного сложения.

Ленточные глины — слабо литифицированные образования, недавно вступившие в стадию эпигенетических преобразований, развивающихся

под влиянием небольшой нагрузки от собственного веса и коллоидно-химических процессов. Последние обусловливают появление у глин структурных связей молекулярного происхождения, на упрочнение которых в верхних горизонтах заметно влияет аэрация [4, 5].

ЛИТЕРАТУРА

1. Долматов Б. И. Осадки фундаментов многоэтажных зданий. Научн. тр. ЛИСИ, вып. 18, 1954.
2. Жемчужников Ю. А. Сезонная слоистость и периодичность осадконакопления. Изд-во АН СССР, 1963.
3. Ломтадзе В. Д. Коллоидно-химическая характеристика глинистых пород. Зап. ЛГИ, т. XXXIII, вып. 2, 1958.
4. Ломтадзе В. Д. Стадия формирования свойств глинистых пород при их литификации. ДАН СССР, т. 102, № 4, 1955.
5. Ломтадзе В. Д. О формировании свойств глинистых пород. Зап. ЛГИ, т. XXII, вып. 2, 1955.
6. Успенский Н. А. Ленточные глины окрестностей Ленинграда. Зап. Всес. минер. о-ва, сер. 2, ч. 67, № 1, 1938.
7. Яковлев С. А. Наносы и рельеф г. Ленинграда и его окрестностей, Л., 1925.
8. Яковлев С. А. Основы геологии четвертичных отложений Русской равнины. Госгеолиздат, 1956.