

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НИЖНЕКЕМБРИЙСКИХ ГЛИН СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ОКРАИНЫ РУССКОЙ ПЛАТФОРМЫ

В. Д. Ломтадзе

Распространение, стратиграфия и условия залегания

Отложения кембрийского возраста на Русской платформе повсеместно распространены по южному подземному склону Балтийского щита. Они встречаются в естественных обнажениях или главным образом под покровом четвертичных отложений, в области предглинтовой полосы вдоль побережья Финского залива и Ладожского озера, в Приневской впадине под Ленинградом (рис. 1).

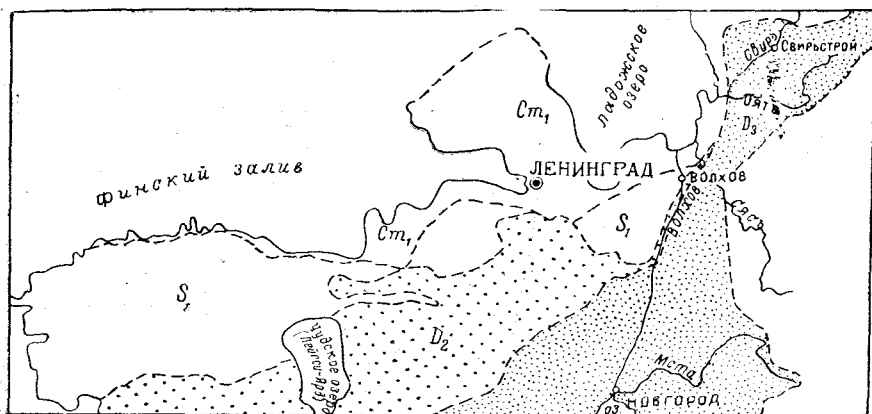


Рис. 1. Схематическая геологическая карта северо-западной окраины Русской платформы

На юге и юго-востоке кембрийские отложения постепенно погружаются под отложения более молодые — силурийские, девонские и др. Здесь они вскрыты многими буровыми скважинами на больших глубинах.

В Ленинградской области и в Прибалтике кембрийские отложения представлены нижним отделом. Основную массу их составляют глины. Изучение физико-механических свойств этих пород представляет определенный интерес. В предглинтовой полосе, в Приневской впадине под Ленинградом они служат естественным основанием для многих и в том числе ответственных сооружений (Нарвская ГЭС). В толще кембрий-

ских глин проходят шахты и тоннели Ленинградского метрополитена. Кембрийские глины широко используются как строительный материал.

Изучению кембрийских отложений посвящен ряд специальных работ М. Э. Янишевского [12, 13, 14, 15] и Б. П. Асаткина [1, 2, 3]. Из новейших геологических работ наиболее значительна сводка Е. М. Люткевич, М. И. Пейсик [9], в которой подробно описаны кембрийские отложения по результатам исследований их по кернам глубоких опорных скважин. Наиболее важными исследованиями, посвященными изучению вещественного состава и литологических свойств кембрийских глин, являются работы П. А. Земятченского [6, 7], А. М. Болдыревой [4], Н. А. Успенского [10], М. Ф. Викуловой [5] и М. Е. Яковлевой [11]. П. А. Земятченским изучались и физические свойства кембрийских глин.

Детальные инженерно-геологические исследования кембрийских глин выполнены коллективом геологов Ленметропроекта под руководством Р. Н. Кремневой. Комплексное изучение кембрийских глин по заданию Ленметропроекта проводится непрерывно с 1945 г. в инженерно-геологической лаборатории Ленинградского горного института.

В самом основании отложений, относимых к кембрию, лежат так называемые гдовские слои ($Ст_1 a$), основную массу которых составляют пески и рыхлые песчаники мощностью от 50 до 100—110 м. Они залегают непосредственно на гранитах и гнейсах архея. Как предполагают, гдовские слои формировались в морских условиях, возникших после длительного перерыва, во время которого происходило формирование сложного рельефа поверхности докембрийского основания.

Выше гдовских слоев почти повсеместно залегает толща глин, которая отчетливо выделяется в разрезе и полностью вскрыта значительным количеством буровых скважин. По литологическим признакам она расчленяется на три самостоятельных горизонта: 1) ламинаритовые глины ($Ст_1 b^1$); 2) надляминаритовые песчаники ($Ст_1 b^2$); синие глины ($Ст_1 b$). Общая мощность толщи глин в пределах описываемой территории постепенно увеличивается с запада на восток от 15—20 до 260 м. Средняя ее мощность в Приневской впадине 190—200 м.

Лaminaритовые глины, образующие нижний горизонт толщи, представлены серией тонкослоистых разностей. На плоскостях их напластования обычно в большом количестве встречаются тонкие пленки сапропеля коричневого цвета, целиком растворяющегося в органических растворителях. Раньше эти пленки принимались за остатки водорослей *Laminarites*, вследствие чего и сами глины получили название ламинаритовых. Мощность этого горизонта глин изменяется от 0 до 130 м, в среднем равна 80—85 м. Отложение их происходило в условиях постепенно расширяющегося морского бассейна. Так как положение береговой линии ламинаритового моря не было стабильным, глины приобретали тонкую слоистость и содержат большое число прослоев песков, песчаников, алевролитов и алевролитовых глин. Среда ламинаритового бассейна была восстановительная, что способствовало сохранению органического вещества, послужившего материалом для образования сапропелевых битуминозных пленок.

Выше горизонта ламинаритовых глин выделяется горизонт надляминаритовых песчаников, представляющий своеобразный переходный горизонт от глин ламинаритовых к синим. Он представлен серией часто переслаивающихся песчаников в нижних горизонтах с глинами ламинаритовыми, а в верхних — с синими. Мощность его изменяется от 5 до 33 м.

Горизонт синих глин слагает верхнюю часть разреза толщи кембрийских глин. Они в основном однородны и окрашены своеобразным серым, синеватым или голубоватым цветом. Мощность этого горизонта изменяется от 0 до 130 м, в среднем 40—70 м.

Синие глины отложились в значительно расширившем пределы морском бассейне, покрывавшем большую часть северо-западной окраины Русской платформы. Бассейн, где отлагались эти глины, был мелководным и имел более открытый характер, чем ламинаритовый. В синих глинах во многих пунктах (г. Кингисепп, г. Пушкин, г. Ленинград и др.) обнаружена фауна, несомненно определяющая их нижнекембрийский возраст [1, 4].

Породы кембрийской системы залегают спокойно с небольшим уклоном на юго-восток. В некоторых местах (р. Нарова) верхние горизонты пород сильно нарушены действием ледника в четвертичную ледниковую эпоху. В предглинтовой полосе поверхность кембрийских отложений очень неровная — волнистая и состоит из впадин и возвышенностей.

На территории, занятой Ленинградом, кембрийские глины лежат на глубинах от 2—3 до 70 м. Вдоль побережья Финского залива и в основании возвышенностей, окружающих Приневскую впадину с юга и севера, кембрийские глины непосредственно выходят на поверхность и слагают нижнюю часть глинта.

Под Ленинградом в Приневской впадине горизонты синих глин и надляминаритовых песчаников, по-видимому, полностью смыты и четвертичные отложения залегают непосредственно на ламинаритовых глинах.

Следовательно, с инженерно-геологической точки зрения в этом районе наибольший интерес представляют свойства глин ламинаритового горизонта. По южным и северным окраинам Приневской впадины синие глины слагают нижнюю часть уступа (глинта) силурийского плато. Они выходят на поверхность земли и разрабатываются многими карьерами.

Таким образом под Ленинградом устанавливается два погребенных рельефа: докембрийский, на смытой поверхности которого залегают кембрийские отложения, и дочетвертичный, на смытой поверхности которого лежат четвертичные отложения.

Внешние признаки, текстура и структура пород

Внешний облик, окраска и некоторые текстурные признаки кембрийских глин весьма характерны. Они очень устойчивы и сохраняются на всей площади распространения глин.

Лaminaритовые глины имеют обычно серо-зеленоватую окраску и тонкослоистое сложение. На плоскостях напластования видны бледные бурые пленки сапропеля, обуславливающие некоторую неоднородность — мелкую пятнистость окраски.

Основной текстурной особенностью глин является тонкая слоистость, которая определяется чередованием тонких слоев глин зеленых более однородных со слоями глин серых, обогащенных алевритовым — пылеватым материалом. Слоистость глин неоднородна: тонкогоризонтальнослоистые слои чередуются с мелколинзовиднослоистыми и неправильно косослоистыми.

В нижней половине разреза ламинаритовых глин часто отличаются прослойки и линзы песков и слабых песчаников. В верхней половине разреза такие прослойки встречаются реже и глины более однородны.

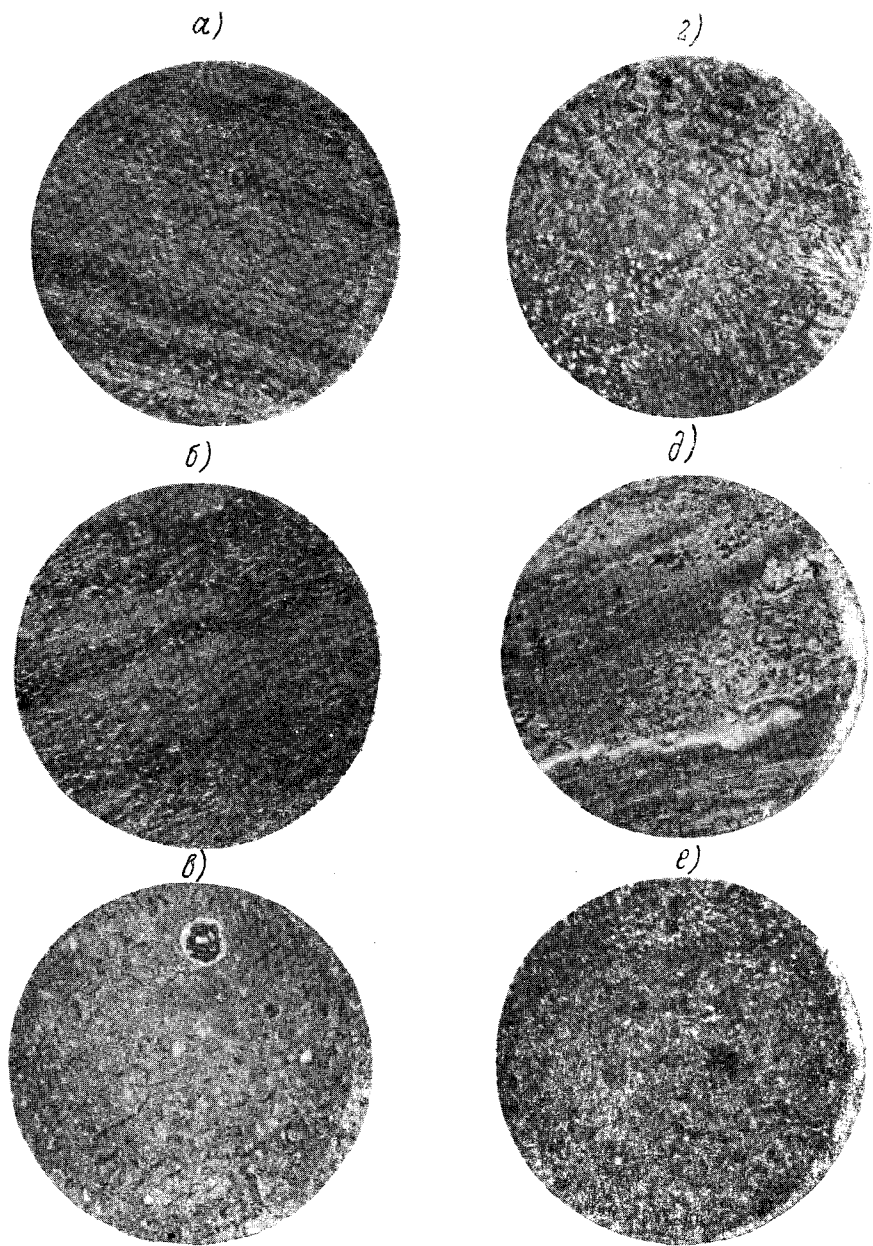


Рис. 2. Кембрийские глины:

a — ламинаритовая, структура микролепидобластовая, текстура полосчато-сланцевая (ст. метро Нарвская, шлиф. А. Николи \times , увелич. 100); *б* — ламинаритовая, структура микролепидобластовая, текстура сланцеватая тонкослоистая, микросланцевая (ст. метро Нарвская, шлиф Б. Николи \times , увелич. 100); *в* — ламинаритовая, структура пелитовая (Ленинградский метрополитен, перегонный тоннель первой очереди, переходящая в микролепидобластовую (Ленинградский метрополитен, перегонный тоннель первой очереди, лаб. № 3379, шлиф. 12. Николи II, увелич. 100); *г* — зеленая ламинаритовая, структура алевропелитовая, переходящая в микролепидобластовую (Ленинградский метрополитен, перегонный тоннель первой очереди, лаб. № 3380, шлиф 13. Николи \times , увелич. 100); *д* — ламинаритовая, структура пелитовая, местами микролепидобластовая, текстура полосчатая с признаками сланцеватости (Ленинградский метрополитен, перегонный тоннель первой очереди, лаб. № 3377, шлиф 10. Николи II, увелич. 100); *е* — синяя, структура пелитовая (район Нарвской ГЭС, шлиф. 1. Николи \times , увелич. 100)

Микротекстура ляминаритовых глин тонкополосчатая, полосчато-сланцевая, реже массивная. Структура их пелитовая, переходящая в микролепидобластовую или явно микролепидобластовая (рис. 2, а—д).

Ляминаритовые глины отличаются сравнительно большой механической прочностью. Они твердые, плотные, разрабатываются только ударными инструментами или взрывным способом. В естественных условиях залегания они нередко разбиты системами трещин, при аэрации растрескиваются, в воде размокают. По внешнему облику они должны быть отнесены к породам полускальным.

Как отмечено выше, верхнюю часть разреза кембрийских глин составляют синие глины. Цвет их вверху голубовато-зеленый, иногда с лиловыми и красными пятнами и разводами, внизу обычно темно-зеленый и серовато-зеленый. Иногда лиловая или малиново-красная окраска у глин проявляется в виде горизонтальных полос, параллельных плоскостям напластования мощностью от нескольких сантиметров до 0,2—0,3 м. В естественных обнажениях эти глины имеют яркий синеvато-голубоватый оттенок, поэтому их называют синими.

Эти глины являются наиболее известным горизонтом нижнего кембрия. Они в основном представляют собой неоднородную по вертикали, тонкослоистую породу, часто с хорошо выраженной ленточной текстурой, проявляющейся в чередовании глинистых и пылеватых слоев мощностью от долей миллиметра до 1—2 мм. Наряду с тонкослоистыми встречаются и более однородные разности с массивной текстурой с развитой в большей или меньшей степени отдельностью по напластованию. Изредка отмечаются однородные неслоистые разности. В синих глинах встречаются прослойки алевролитов и песчаников, которые в общей массе глин распределены неравномерно.

На поверхностях напластования синих глин часто наблюдается волнистость — следы деятельности волн и подводного размыва. Поверхность напластования нередко покрыта мелкозернистым, часто глауконитовым песком. В виде включений в синих глинах встречается пирит в форме отдельных кристаллов, скоплений мелких кристаллов по плоскостям напластования, а также в форме различных сростков. В верхних горизонтах синих глин иногда встречаются кристаллы гипса.

Микротекстура синих глин массивная, переходная к сланцеватым, так как основная глинистая масса породы оптически ориентирована одинаково, структура пелитовая или микролепидобластовая (рис. 2, е).

По физическому состоянию синие глины несколько отличаются от ляминаритовых. В естественном залегании они имеют большую влажность и скрытопластичную или тугопластичную консистенцию. При изломе дают неровную занозистую поверхность. В естественных обнажениях вязкие и липкие. При высыхании сильно растрескиваются, образуя обломки и щебенку неправильной остроугольной формы. Разрабатываются они легче, чем глины ляминаритовые, но ударным инструментом.

Вещественный состав

Гранулометрический состав синих и ляминаритовых глин весьма сходен. Содержание глинистых фракций в синих глинах (табл. 1) всегда превышает 30%, а в некоторых случаях достигает почти 60%. Содержание пылеватых фракций изменяется от 40 до 50—54%. Содержание песчаных фракций ничтожно. Следовательно, синие глины по гранулометрическому составу должны быть классифицированы как глины пылеватые или как глины тяжелые пылеватые.

Гранулометрический состав синих глин

Район	Содержание фракций, %						Материалы исследований
	0,25	0,25—0,05	0,05—0,01	0,01—0,005	0,005—0,001	0,001	
Пулково	Следы	Следы	3	48	14	32	П. А. Земятчинского
Гор. Павловск . .	1	1	16	26	26	30	Его же
Ст. Поповка . . .	—	1	9	35	13	42	" "
Кронштадт . . .	1	8	20	34	6	31	" "
Дер. Мишина Гора	—	4	8	46	7	35	Г. А. Дымского
Дер. Кузьмино . .	—	0—1	5—8	33—38	55—60		Его же
Ст. Красноборская	Следы	0—2	3—13	32—45	6—38	25—42	" "
Дер. Воскресенская	"	Следы	0—12	41—58	1—15	24—46	" "
Саблинское месторождение . . .	"	"	28	12	24	35	М. Е. Яковлевой
Месторождение "Скачки"	—	—	18	44	12	26	В. Д. Ломтадзе

Примерно аналогичный гранулометрический состав имеют и глины ламинаритовые. Среднее содержание глинистых фракций в ламинаритовых глинах 50%, пылеватых 45% и мелкопесчаных примерно 5%. Как видно на рис. 3. ламинаритовые глины относятся к типично пыле-

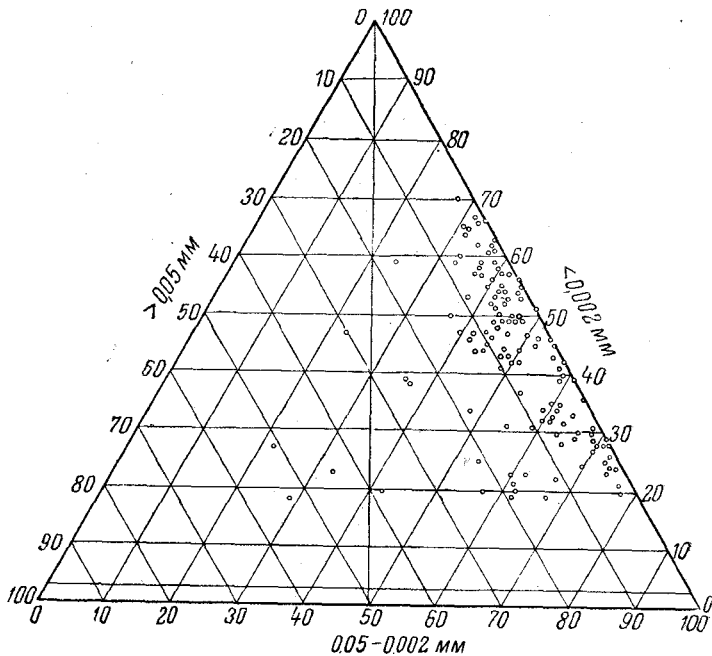


Рис. 3. Гранулометрический состав ламинаритовых глин района Ленинграда

ватым (алевритовым) разностям и в этом смысле весьма однородны. Однако содержание пылеватых и глинистых фракций в отдельных образцах этих глин, отобранных из различных прослоек, слоев или го-

ризонтов может изменяться в широких пределах и указывает на некоторую неоднородность — изменчивость гранулометрического состава глин в вертикальном разрезе.

Согласно рис. 3, содержание пылеватых фракций в глинах может изменяться от 30 до 80%, а глинистых от 20 до 70%. Содержание песчаных фракций редко превышает 8—10%. В вертикальных разрезах ламинаритовых глин (рис. 4) при относительном изменении содержания

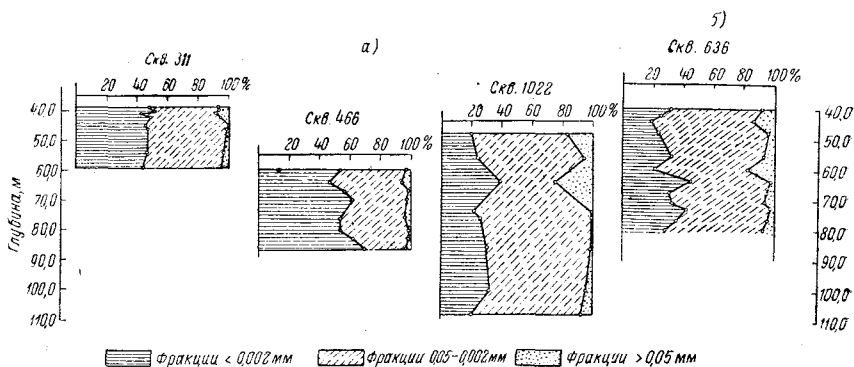


Рис. 4. Изменение гранулометрического состава ламинаритовых глин с глубиной:

а — по скважинам, пройденным по трассе первой очереди Ленинградского метрополитена; б — по одной из буровых скважин, расположенных на трассе второй очереди Ленинградского метрополитена

глинистых и пылеватых фракций сохраняется явно пылеватый — алевроитовый характер глин. Такой гранулометрический состав свойственен, по-видимому, всем ламинаритовым глинам, распространенным на обширной площади. Так, например, глины из района Нарвской ГЭС (табл. 2) и из района Кривого Колена на р. Неве (табл. 3), т. е. из далеко удаленных от Ленинграда на запад и восток точек, сохраняют неизменным свой пылеватый — алевроитовый состав.

Таблица 2

Гранулометрический состав ламинаритовых глин района Нарвской ГЭС
(по данным анализов лаборатории Ленгидэпа)

Значения	Содержание фракций, %			
	> 2	2—0,05	0,05—0,002	< 0,002
Среднее	0	3	57	40
Максимальное	0	17	70	51
Минимальное	0	0	47	24
Число определений	68	68	68	68

Таблица 3

Гранулометрический состав ламинаритовых глин района Кривого Колена р. Невы
(по данным анализов лаборатории Ленгидэпа)

Значения	Содержание фракций, %			
	> 0,05	0,05—0,01	0,01—0,002	< 0,002
Среднее из 10 анализов	6	22	32	40

Минеральный состав кембрийских глин изучен еще недостаточно. В составе синих глин обнаружено 17 минералов [4, 6, 10]. Основную массу породы составляет тонкочешуйчатая серицитоподобная слюдка. Встречаются также мусковит (1%), бурые слюды (0,2%), кварц (14,6%) и полевые шпаты (3%). В виде незначительных примесей присутствуют хлорит, глауконит, карбонат, пирит, бурые гидроокислы железа, турмалин, циркон, апатит, амфибол, эпидот и рутил.

А. М. Болдырева, исследуя синие глины с р. Поповки, определила, что во фракции 0,05—0,01 мм легкие минералы составляют 99,25%, тяжелые 0,75%. В составе легких минералов преобладает кварц, а среди тяжелых — пирит (табл. 4). Примерно тот же состав минералов отмечен П. А. Земятченским [6] в синих глинах из окрестностей Павловска и района Пулково.

Таблица 4
Минеральный состав фракции 0,05—0,01 мм синих глин
с р. Поповки (по данным А. М. Болдыревой)

Легкая фракция 99,25, %		Тяжелая фракция 0,75, %	
Кварц	74,0	Пирит	96,0
Полевой шпат	15,3	Турмалин	0,3
Глауконит	1,0	Циркон	1,9
Бесцветные слюды	5,0	Роговая обманка	0,3
Бурые слюды	0,2	Апатит	0,3
Хлорит	2,1	Эпидот	0,2
Выветрелые материалы	2,4	Выветрелые материалы	1,0
100		100	

Минеральный состав тонкодисперсной части синих глин существенно отличен от состава грубодисперсной части. Детальные исследования синих глин из Саблинского месторождения, проведенные М. Е. Яковлевой [11], показали, что тонкодисперсная их часть состоит из гидрослюд и монтмориллонита (бейделлита) с незначительной примесью кварца. М. Ф. Викулова [5], исследуя нижнекембрийские синие глины под электронным микроскопом, установила, что для верхних горизонтов толщи этих глин характерны гидрослюды, а для более глубоких — монтмориллонит.

Как показали наши исследования синих глин из обнажений на р. Тосно, основная породообразующая роль тонкодисперсной части этих глин принадлежит гидрослюдам. Однако, в отличие от чисто гидрослюдистых глин, при окрашивании синих глин метиленово-голубым красителем суспензия приобретает слабый зеленоватый оттенок. Такой же оттенок имеет и осадок при окрашивании глин бензидином. Следовательно, синие глины имеют примеси минералов монтмориллонитовой группы.

Таким образом, синие глины нижнего кембрия по совокупности имеющихся данных можно отнести к типу монтмориллонитово-гидрослюдистых.

По данным исследований минерального состава ламинаритовых глин, проведенных в Ленинградском горном институте, преобладающее количественное значение — оновную ткань породы — составляет микрочешуйчатая и криптозернистая пелитовая (глинистая) масса буроватой

окраски. За счет раскристаллизации глинистой массы получают развитие биотит с характерной схемой абсорбции и слабым плеохроизмом, серицит и реже хлорит. На фоне пелитовой массы нередко различимы зерна кварца, карбоната и рудных минералов. В одном случае были обнаружены зерна гипса. В микростроении ламинаритовых глин часто

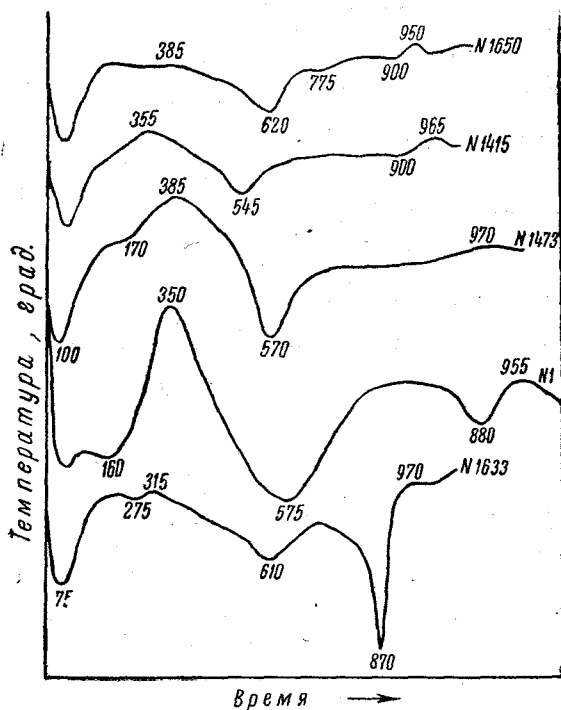


Рис. 5. Кривые нагревания ламинаритовых глин (выполнено В. Д. Никитиным)

заметна полосчатость, обусловленная чередованием полос различного состава, например широких полос микрочешуйчатого и микрозернистого глинистого вещества с биотитом, хлоритом и серицитом, разделенных тонкими слойками, состоящими только из пелитового вещества бурого цвета, или, например, полосы микрочешуйчатого серицита с микрозер-

Таблица 5

Минеральный состав тонкодисперсной части ламинаритовых глин по данным термического анализа (выполнено В. Д. Никитиным)

Лабораторный номер	Минеральный состав
1411	Гидрослюда I типа — монотермит
1413	Гидрослюда I типа — монотермит + кварц
1415	Гидрослюда II типа — иллит + кварц
1633	Гидрослюда II типа — иллит + кальцит
1650	Гидрослюда II типа — иллит + доломит
Река Нарова	Гидрослюда II типа — иллит

**Минеральный состав тонкодисперсной части ламинаритовых глин
по данным рентгеновского анализа**

(выполнено В. И. Михеевым и И. В. Михеевой)

Лабораторный номер	Минеральный состав, %					
	иллит	каолинит	монтмориллонит	кварц	кальцит	глауконит
Река Нарова	80	5	—	10—15	—	—
3376 (глинистый прослоек)	80	До 15	—	10	—	—
3376 (пылеватый прослоек)	20	40	—	10—15	25—30	—
3377	85	5	—	5	—	—
3378	80	До 15	—	10	—	—
3379	90	5	—	5	—	—
3380	85	До 10	—	10	—	—
1415	40	35	—	20	—	—
1473	40	30	—	20—30	—	—
1633	—	—	Мало	10—15	—	85—90
1650	—	—	—	20	—	80

нистым пелитовым материалом чередуются с редкими тонкими полосами криптозернистой глинистой массы.

При исследовании основной породообразующей глинистой части ламинаритовых глин методом окрашивания обнаружено, что это типичные гидрослюдистые глины. Такой же преимущественно состав тонкодисперсной части глин устанавливается термическим (табл. 5, рис. 5) и рентгеновским анализами (табл. 6).

Однако, как видно из табл. 5, 6, в тонкодисперсной части ламинаритовых глин почти всегда присутствуют каолинит, содержание которого иногда достигает значительной величины, и кварц. В двух случаях обнаружено высокое содержание глауконита. Иногда встречаются кальцит или доломит и в одном случае обнаружены признаки монтмориллонита.

Таким образом, ламинаритовые глины по составу глинистых минералов относятся к типу гидрослюдистых или каолинитово-гидрослюдистых.

В составе грубодисперсной — песчаной части ламинаритовых глин, согласно исследованиям Ленметропроекта, установлено, что фракция 0,25—0,05 мм состоит преимущественно из кварца, калиевых полевых шпатов, карбоната и зерен кварца, сцементированных карбонатом. Кроме того, встречаются зеленая слюда и хлорит. Тяжелые минералы в этой фракции составляют от 0,6 до 9,9%, они представлены в основном карбонатами и в значительно меньшем количестве — роговой обманкой, гранатом, цирконом и эпидотом. Фракция 0,05—0,01 мм по минеральному составу близка к фракции 0,25—0,05 мм и состоит преимущественно из кварца, полевого шпата и карбонатов.

Химический состав как синих (табл. 7), так и ламинаритовых (табл. 8) глин отличается сравнительным постоянством. Это малоглиноземистые глины с избыточным содержанием кремнезема, который представлен главным образом кварцем, составляющим алевритовую часть

Химический состав синих глин

(по П. А. Земятченскому, К. Келлер, М. Е. Яковлевой и исследованиям Ленгидэпа)

Оксиды	Химический состав синих глин, взятых из района				
	Пулкова	г. Пушкина	г. Павловска	Саблинского месторождения	р. Нарова
SiO ₂	59,45	60,64	61,20	61,87	58,06—60,22
Al ₂ O ₃	20,55	18,00	22,65	18,35	15,83—16,92
Fe ₂ O ₃	3,16	4,79	5,02	3,40	7,98—10,86
FeO	2,54	2,61	—	2,69	—
CaO	2,82	0,41	0,82	0,41	0,49—0,99
MgO	1,89	2,52	2,43	2,69	2,46—2,75
K ₂ O	2,20	4,18	2,91	5,72	—
Na ₂ O	0,64	0,17	—	0,04	—
SO ₃	0,60	1,26	—	0,37	—
Потери при прокаливании	5,11	4,84	4,36	4,46	5,83—6,56
H ₂ O гигр.	2,99	3,15	2,78	—	2,28—2,56

Таблица 8

Химический состав ламинаритовых глин

(по исследованиям Ленинградского горного института)

Оксиды	Химический состав ламинаритовых глин							
	1411	1666	1667	1668	1680	1755	1473	1415
SiO ₂	69,71	54,52	57,42	55,08	55,66	62,91	58,60	63,58
Al ₂ O ₃	19,28	25,33	23,92	17,69	19,56	15,43	18,71	18,20
Fe ₂ O ₃	—	2,80	4,32	6,63	2,95	5,29	3,47	3,04
SeO	1,90	1,65	2,28	2,10	5,02	1,55	5,35	3,07
CaO	1,89	0,59	0,47	0,42	0,48	0,48	0,49	0,29
MgO	1,22	1,39	0,26	1,44	1,30	1,27	1,96	1,78
K ₂ O	1,45	3,88	1,54	3,89	2,88	3,54	1,43	1,78
Na ₂ O	1,84	4,35	5,96	5,72	4,02	5,45	1,02	1,65
SO ₃	0,43	0,10	0,06	0,09	0,10	0,05	0,09	0,07
Потери при прокаливании	2,27	5,43	3,29	7,30	7,47	4,35	8,36	6,53
H ₂ O гигр.	0,93	1,37	2,79	1,30	1,08	1,38	1,79	2,14

глин. Коэффициент, выражающий отношение процентного содержания SiO₂ к R₂O₃, у синих глин изменяется от 2,7 до 3,8, а у ламинаритовых от 2,2 до 3,6, что указывает на преимущественно гидрослюдистый состав кембрийских глин.

Содержание воднорастворимых составляющих в кембрийских глинах ничтожно. Анализы водных вытяжек (табл. 9) из ламинаритовых глин показывают, что общее содержание растворимых в воде солей изменяется от 129,6 до 187,3 мг на 100 г сухой породы. Среди выщелоченной части преобладают бикарбонаты, на втором месте стоят сульфаты.

Данные анализов водных вытяжек из ламинаритовых глин
(по исследованиям Ленинградского горного института)

Лабораторный номер	Химический состав водных вытяжек, мг на 100 г сухой породы					
	НСО ₃	Cl	SO ₄	MgO	CaO	Сумма
1650	58,5	8,9	42,0	16,7	19,2	145,3
1633	64,0	8,9	56,0	19,3	26,8	175,0
1667	21,9	2,0	61,6	5,4	9,0	159,9
2042	81,9	17,0	30,5	7,2	12,5	149,1
2141	80,2	13,6	32,8	5,0	8,0	129,6
1744	81,9	20,4	57,5	5,8	18,0	183,6
2035	93,4	25,3	37,0	3,6	28,0	187,3
2043	93,5	6,8	63,0	2,9	14,5	185,7

Кембрийские глины обладают низкой обменной способностью, не превышающей 15 мг/экв на 100 г породы (табл. 10). Из поглощенных катионов в их составе преобладает Са.

Таблица 10

Состав обменных катионов в кембрийских глинах

Глина	Содержание, мг/экв на 100 г породы			Емкость поглощения, мг/экв	Материалы исследования
	Na ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺		
Синяя	0,81	8,67	2,79	12,27	М. Е. Яковлевой
Ламинаритовая	0,83	7,12	4,41	12,36	В. Д. Ломтадзе

Следовательно, кембрийские глины относятся к сильно пылеватым разностям. По минеральному составу тонкодисперсной части синие глины являются монтмориллонитово-гидрослюдистыми, а ламинаритовые каолинитово-гидрослюдистыми. Обе разности обладают низкими обменными способностями и по содержанию поглощенных катионов являются Са-глинами.

Физико-механические свойства

Как следует из описания геолого-литологических свойств, образование кембрийских глин происходило в обстановке постепенно расширяющегося морского бассейна. Это определило их большую мощность и широкое распространение.

В палеозое они были перекрыты отложениями кембрийскими, силурийскими и девонскими общей мощностью 300—350 м, создающими нагрузку примерно 60—70 кг/см² (рис. 6). Впоследствии они оказались в области размыва и, следовательно, претерпевали постепенную разгрузку. К началу четвертичного периода весь покров палеозойских отложений был смыт и в четвертичное время ледник эродировал, а ледниковые воды размывали непосредственно кембрийские глины. Согласно исследованиям Г. Д. Рихтера, М. Н. Лавровой и К. К. Маркова, мощность ледникового покрова здесь могла достигнуть 1000 м. Следо-

вательно, в период оледенения временная нагрузка на кембрийские глины достигала $80-90 \text{ кг/см}^2$. В послеледниковое время кембрийские глины северо-западной части Русской платформы оказались под покровом четвертичных отложений мощностью от $5-10$ до $50-100 \text{ м}$, т. е. под нагрузкой от $1-2$ до $10-20 \text{ кг/см}^2$.

Таким образом, кембрийские глины дважды после отложения испытывали нагрузку: первую, меньшую по величине, но продолжительную, — в палеозое и вторую, большую по величине, но весьма кратковременную, — в ледниковое время. В течение же значительного геологического времени они были разгружены, подвергались разуплотнению, которое сопровождалось явлениями гидратации. Все эти геологиче-

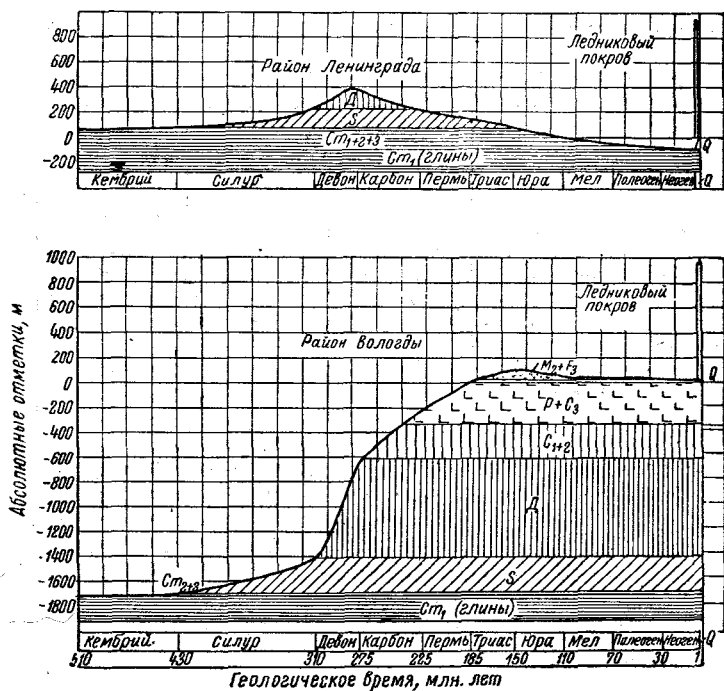


Рис. 6. Схематический график геологической истории кембрийских глин для районов Ленинграда и Вологды

ские условия, в которых находились кембрийские глины, и определили их современное состояние и свойства. Средняя естественная влажность их равна 14% , объемный вес скелета $1,99 \text{ г/см}^3$, а пористость 30% . Они находятся в тугопластичном или полутвердом состоянии, т. е. имеют состояние и свойства, не соответствующие самому древнему возрасту из всех глинистых отложений, известных на Русской платформе.

Иную геологическую историю имеют кембрийские глины в районе Вологды. От палеозоя до наших дней они непрерывно испытывают большую гравитационную нагрузку. Максимальная величина ее в мезозое была равна примерно 400 кг/см^2 , в ледниковый период увеличилась почти до 500 кг/см^2 и в настоящее время вновь снизилась до 400 кг/см^2 . В результате глины превращены в аргиллиты со следами сланцеватости. Естественная влажность их не превышает 5% , объемный вес скелета равен $2,35 \text{ г/см}^3$, пористость 10% . Здесь кембрийские глины

достигли весьма высокой степени литификации и превратились в типичную полускальную породу.

Ниже дается характеристика и оценка физических, а затем водных и механических свойств глин, главным образом ляминаритовых, представляющих наибольший интерес со строительной точки зрения и поэтому более полно изученных.

Физические свойства

Естественная влажность. Вследствие повышенной уплотненности кембрийские глины имеют сравнительно малую естественную влажность (табл. 11, рис. 7).

Таблица 11

Естественная влажность кембрийских глин

Наименование значения	Синие		Ляминаритовые	
	р. Саблинка	р. Нарова	р. Нева. Кривое Колено	район Ленинграда
Число определений	13	207	54	580
Среднее арифметическое	17,1	16,0	16,0	13,6
Квадратическое отклонение	—	—	—	2,57
Медиана	—	—	—	13,0
Мода	—	—	—	13,0
Максимальное	19,8	28,0	23,0	18,0
Минимальное	11,8	10,0	11,0	10,0

Среднее арифметическое значение естественной влажности синих глин равно 16—17% при максимальном 19,8 и 28,0% и минимальном 11,8 и 10,0%. Среднеарифметическое значение естественной влажности ляминаритовых глин для района Ленинграда достигает 13,0%

при среднеквадратическом отклонении 2,57. Как видно из рис. 7, это же значение является и наиболее часто повторяющимся — модальным. Предельные значения естественной влажности (без учета 10% определений наивысших и наинизших значений) равны: максимальное 18%, минимальное 10%.

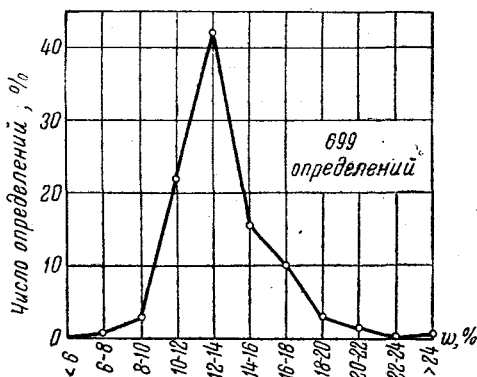


Рис. 7. График распределения естественной влажности ляминаритовых глин района Ленинграда

Эти значения показывают, что естественная влажность ляминаритовых глин в районе Ленинграда изменяется в сравнительно узких пределах. Изучение распределения естественной влажности ляминаритовых глин

для района Ленинграда показывает сравнительно большую однородность степени влажности глин. Кроме того, устанавливается, что из всей совокупности значений примерно только 30% определений показывают влажность пород выше 12—14%, т. е. наиболее часто повторяющуюся (рис. 8). Естественная влажность ляминаритовых глин

в районе Кривого Колена р. Невы выше, чем в районе Ленинграда. Это объясняется тем, что в районе Кривого Колена глины вскрыты на меньшей глубине, непосредственно под толщей водоносных четвертичных отложений. Поэтому они там, по-видимому, более уплотнены и гидратированы.

Естественная влажность ламинаритовых глин с глубиной (рис. 9) несколько уменьшается, и в верхних горизонтах она изменяется в более широких пределах (примерно от 10 до 20%), чем в нижних (от 10 до 15%).

Удельный и объемный вес.

Объемный вес глин, определенный по образцам естественного сложения и влажности (рис. 10, табл. 12), указывает на достаточную уплотненность глин. Среднее арифметическое значение объемного веса синих глин, по

данным многочисленных определений, для района р. Наровы равно $2,16 \text{ г/см}^3$. Такой же объемный вес имеют и ламинаритовые глины района Ленинграда. Среднее арифметическое значение объемного веса скелета кембрийских глин можно считать равным $1,86-1,90 \text{ г/см}^3$.

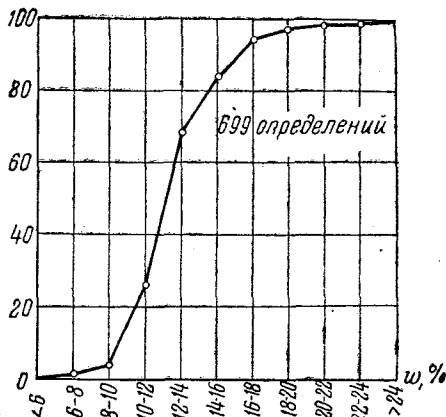


Рис. 8. Интегральная кривая распределения естественной влажности ламинаритовых глин района Ленинграда

Таблица 12

Объемный вес и объемный вес скелета кембрийских глин

Наименование значения	Объемный вес, г/см^3				Объемный вес скелета, г/см^3			
	синие		ляминаритовые		синие		ляминаритовые	
	р. Саб- линка	р. На- рова	р. Невы	Ленин- град	р. Саб- линка	р. На- рова	р. Невы	Ленин- град
Число определений	1	210	6	544	1	210	6	541
Среднее арифметическое	2,23	2,16	2,21	2,16	1,94	1,86	1,93	1,90
Квадратическое отклонение	—	—	—	0,07	—	—	—	0,08
Медиана	—	—	—	2,17	—	—	—	1,91
Мода	—	—	—	2,15	—	—	—	1,89
Максимальное	—	2,31	2,32	2,26	—	2,07	2,06	2,00
Минимальное	—	1,96	2,17	2,08	—	1,58	1,89	1,88

Обращая внимание на повышенную уплотненность кембрийских глин, необходимо отметить и относительно значительную однородность их состояния. Об этом свидетельствуют незначительные изменения максимальных и минимальных значений объемного веса и объемного веса скелета как синих, так особенно ламинаритовых глин.

Распределение значений объемного веса ламинаритовых глин района Ленинграда показывает, что только 15% всех определений дают

значения объемного веса ниже $2,10 \text{ г/см}^3$, 85% всех определений имеют объемный вес более высокий (рис. 11).

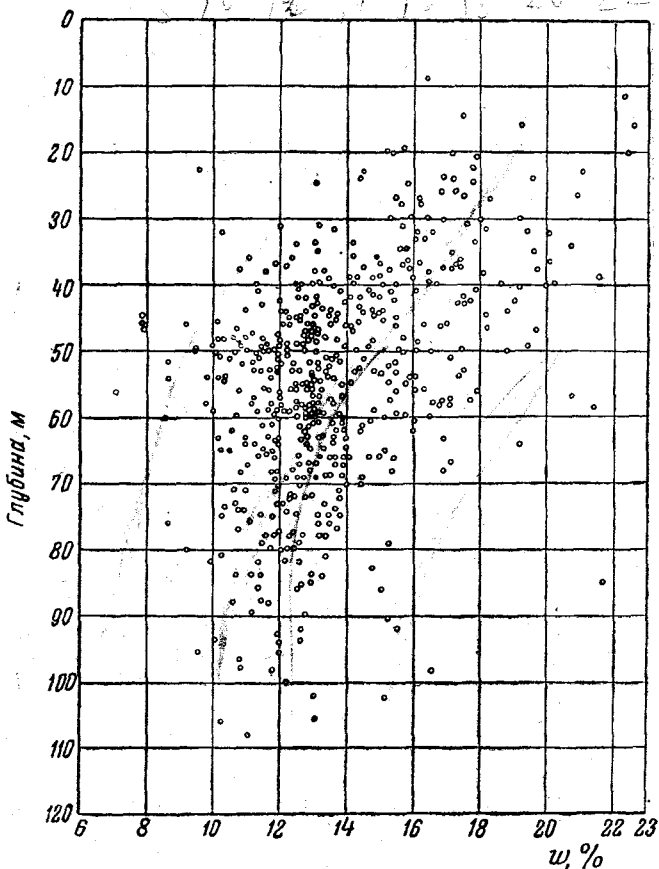


Рис. 9. График распределения естественной влажности ламинаритовых глин с глубиной для района Ленинграда

Распределение значений объемного веса в пределах более детально изученной 90—100-метровой зоны свидетельствует о слабо заметном

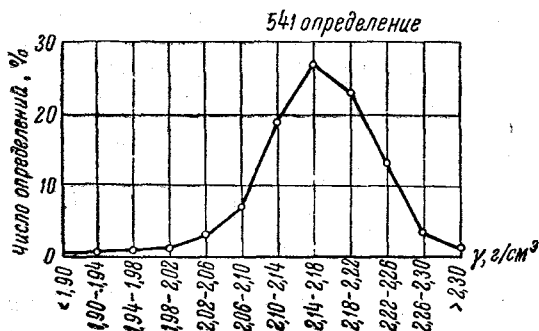


Рис. 10. График распределения объемного веса ламинаритовых глин

повышении плотности ламинаритовых глин с глубиной (рис. 12). Практически эти изменения незначительны, поэтому можно считать, что в исследованной зоне сохраняется примерно одинаковая степень плотности глин. Кембрийские глины в недавнем прошлом освободились от нагрузок ледникового покрова, поэтому их верхние горизонты, как и нижние, достаточно уплотнены.

Известно [8], что за пределами отмеченной 90—100-метровой зоны объемный вес глин с глубиной повышается и они постепенно на соответствующих глубинах переходят в аргиллиты со следами сланцеватости.

Определенный для тех же образцов кембрийских глин удельный вес (табл. 13) — нормальный и соответствует их минеральному составу.

Таблица 13.

Удельный вес кембрийских глин

Наименование значения	Синие		Ламинаритовые	
	р. Саблинка	р. Нарова	р. Нева, Кривое Колено	район Ленинграда
Число определений	1	85	6	127
Среднее арифметическое	2,77	2,77	2,74	2,74
Квадратическое отклонение	—	—	—	0,03
Медiana	—	—	—	2,73
Мода	—	—	—	2,73
Максимальное	—	2,86	2,79	2,78
Минимальное	—	2,70	2,73	2,70

Пористость. Как видно из табл. 14, кембрийские глины относятся к достаточно уплотненным. Среднее арифметическое значение пористости их 30—33%, а коэффициенты пористости 0,42—0,49 при небольшом квадратическом отклонении и сравнительно малом интервале изменений от минимума до максимума. Это указывает не только на повышенную уплотненность, но и достаточную однородность состояния.

Консистенция. Кембрийские глины имеют обычно тугопластичную или полутвердую консистенцию. Они с трудом разминаются и растираются в руках. Разрабатываются почти только ударными инструментами или взрывным способом. Из приведенных в табл. 15 данных

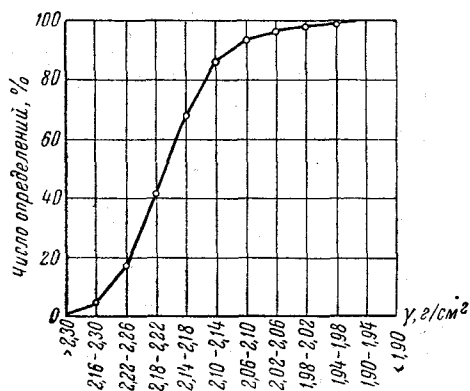


Рис. 11. Интегральная кривая распределения значений объемного веса ламинаритовых глин района Ленинграда

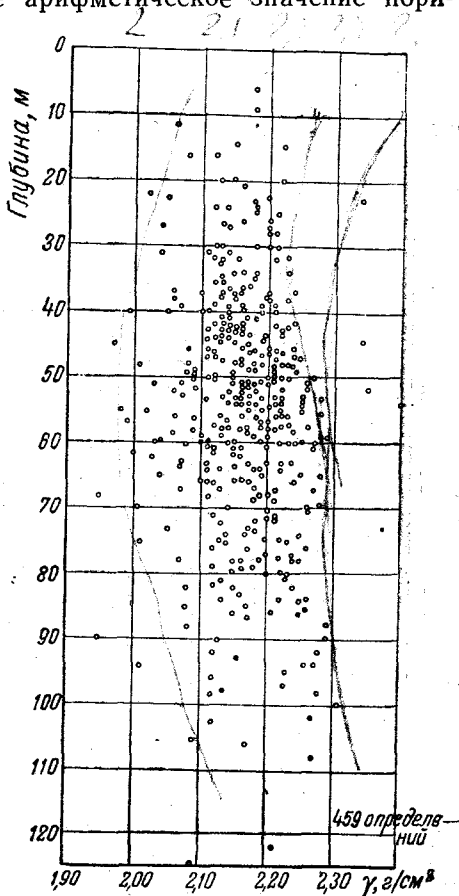


Рис. 12. График распределения значений объемного веса ламинаритовых глин с глубиной для района Ленинграда

видно, что степень пластичности глин в общем соответствует их составу. Но для района Ленинграда пределы пластичности ламинаритовых глин

отвечают более легкому составу пород. По данным же гранулометрического состава, эти породы относятся к более тяжелым.

Таблица 14

Пористость и коэффициент пористости кембрийских глин

Наименование значения	Пористость, %				Коэффициент пористости			
	синие		ляминаритовые		синие		ляминаритовые	
	р. Саб- линка	р. На- рова	р. Нева	Ленин- град	р. Саб- линка	р. На- рова	р. Нева	Ленин- град
Число определений	1	210	6	122	1	210	6	122
Среднее арифметическое	30	33	29	30	0,43	0,49	0,42	0,45
Квадратическое отклонение	—	—	—	2,81	—	—	—	0,06
Медиана	—	—	—	31	—	—	—	0,44
Мода	—	—	—	29	—	—	—	0,43
Максимальное	—	45	31	36	—	0,82	0,46	0,54
Минимальное	—	25	26	26	—	0,34	0,35	0,36

Отношение числа пластичности кембрийских глин к содержанию в их составе глинистых фракций свидетельствует о том, что эти породы имеют низкую коллоидную активность, что согласуется с величиной их емкости поглощения.

Таблица 15

Пределы пластичности кембрийских глин

Наименование значения	Предел пластичности				Предел текучести				Число пластичности			
	синие		ляминаритовые		синие		ляминаритовые		синие		ляминаритовые	
	р. Саблин- ка	р. Нарова	р. Нева	Ленинград	р. Саблин- ка	р. Нарова	р. Нева	Ленинград	р. Саблин- ка	р. Нарова	р. Нева	Ленинград
Число определений	1	115	6	180	1	115	6	188	1	115	6	188
Среднее арифметическое	22	22	20	20	41	41	38	33	19	19	18	14
Квадратическое отклонение	—	—	—	2,7	—	—	—	4,9	—	—	—	3,7
Медиана	—	—	—	19	—	—	—	33	—	—	—	13
Мода	—	—	—	19	—	—	—	31	—	—	—	11
Максимальное	—	27	22	24	—	49	46	40	—	22	24	18
Минимальное	—	19	18	16	—	33	32	26	—	14	18	10

Естественная влажность глин, как правило, ниже предела пластичности. Следовательно, как при нарушении естественного сложения глин, так и особенно при своем естественном сложении они должны иметь полутвердую консистенцию, что фактически и наблюдается при вскрытии их разведочными и горными выработками (табл. 16). Глины в тугопластичном состоянии встречаются редко и главным образом в приповерхностных горизонтах или в увлажненных зонах.

Состояние консистенции также свидетельствует об однородности кембрийских глин.

Показатели консистенции B и коэффициент естественной уплотненности K_d кембрийских глин

Показатель	Синие		Ляминаритовые	
	р. Саблинка	р. Нарова	р. Нева	Ленинград
Консистенции	0	0	0	0
Коэффициент естественной уплотненности	1,47	1,31	1,22	1,46

Водные свойства

Влагоемкость. Обусловленная достаточно высокой уплотненностью влагоемкость кембрийских глин умеренная. Значения полной влагоемкости синих и ляминаритовых глин равны или несколько больше их естественной влажности. Поэтому коэффициент насыщения глин равен или близок к единице, т. е. соответствует породам, находящимся в насыщенном водой состоянии. Так, например, полная влагоемкость синих глин района р. Саблинка и по средним данным района р. Наровы равна 16%. Соответственно коэффициент насыщения синих глин равен 0,97 и 1,0. Полная влагоемкость ляминаритовых глин по средним данным для района р. Невы равна 15,4%, а для района Ленинграда 15%. Соответственно коэффициент насыщения — 0,97 и 0,91.

Итак, в естественных условиях залегания кембрийские глины находятся в насыщенном водой состоянии или близком к нему. Отдельные определения полной влагоемкости, например для района р. Наровы или Ленинграда, показывают, что насыщение глин может достигать 70—75%. Однако такие значения немногочисленны и, по-видимому, соответствуют пробам глин, не сохранившим естественной влажности — подсохшим. Большинство определений показывает, что кембрийские глины насыщены водой больше, чем на 85%, и часто на 100%. По средним же данным насыщение приближается к полному.

Максимальная молекулярная влагоемкость кембрийских глин достаточно умеренная. У синих глин она изменяется от 13 до 17%, а у ляминаритовых — от 14 до 18%. Сравнивая эти данные с естественной влажностью, можно заключить, что вся влага, находящаяся в составе глин, находится в физически связанном состоянии.

Размокание. Синие и ляминаритовые глины, как показывают исследования, медленно размокают в воде. Однако в этом отношении те и другие не однородны. Некоторые образцы, имеющие главным образом массивную или неясно слоистую текстуру, размокают медленно, при хранении в воде в течение 10—12 суток почти не изменяют первоначальной формы и размеров, но при погружении в воду иногда распадаются на два-три куска по скрытым трещинам или плоскости слоистости и в таком виде неопределенно долгое время сохраняются без заметных разрушений, хотя влажность их по сравнению с естественной увеличиваются на 3—4, а иногда и 6%.

Менее водоустойчивыми являются те образцы, у которых лучше выражена слоисто-ленточная текстура. При погружении в воду вначале наблюдается медленное отделение частиц от поверхности монолита, затем более четко обозначается слоистость, по которой образец разваливается на мелкие или крупные куски. Иногда разрушение начинается

с того, что грани образца быстро выкрашиваются и поверхность его приобретает изрытый вид, а затем образец распадается на куски. Размоканию этой разности глин способствует также наличие в них скрытых волосных трещин. Общая продолжительность размокания второй разности глин достигает 15—20 час., но чаще 30—40 час., т. е. не превышает двух суток.

При размокании обеих разностей некоторые образцы в воде заметно набухают, увеличиваются в объеме и поэтому утрачивают резкость граней.

О малой и медленной размокаемости синих глин свидетельствуют следующие наблюдения. При неоднократном обследовании ряда крупных обнажений этих глин по рекам Саблинке и Тосно установлено, что синие глины изменяли свою консистенцию — размокали до мягкопластичного состояния на глубину не более 10—15 см; глубже они сохраняли свою естественную тугопластичную или полутвердую консистенцию. В обнажениях нет следов сползания или сплывания размягченных слоев глин, и в откосах обнажений крутизной до 30—35° они устойчивы. В летнее время, когда откосы достаточно просохшие, они обычно покрыты тонким слоем (2—3 см) мелкой «зернистой» щебенки, ниже которой залегают глины плотные, рассеченные сравнительно густой сеткой трещин.

О поведении ламинаритовых глин при погружении их в воду свидетельствуют следующие наблюдения. Горными выработками Ленинградского метрополитена эти глины были вскрыты до войны (1941—1945 гг.). Во время войны выработки были затоплены. После войны было обнаружено, что в открытых забоях глины подверглись размоканию на глубину лишь 3—6 мм (Кремнева, 1956). Более глубокое проникновение влаги в массив глин наблюдалось по трещинам, полностью заполненным разбухшей глиной.

Таким образом, как по лабораторным, так и по полевым наблюдениям глины размокают медленно.

Набухание. Кембрийские глины обладают относительной водостойчивостью — медленно размокают в воде и сравнительно слабо набухают. По результатам опытов в компрессионных приборах (табл. 17) ламинаритовые глины можно отнести к умеренно набухающим. Общее набухание их, как правило, не превышает 10—11% и из 11 поставленных опытов только в одном случае оно достигало 23,6%.

Таблица 17

Набухание ламинаритовых глин

Лабораторный номер	Влажность начальная, %	Влажность набухания, %	Увеличение влажности при набухании, %	Общее набухание, %	Набухание при увеличении влажности на 1%
2350	13	28	15	23,6	1,57
1748	1	10	9	11,1	1,23
1243	14	22	8	7,5	0,93
757	15	19	4	3,9	0,98
3552	11	19	8	7,7	0,96
3547	3	19	16	10,3	0,64
254	14	19	5	8,4	1,68
5086	13	16	3	3,0	1,0
4806	13	19	6	5,9	0,98
4741	12	19	7	9,2	1,32
2584	11	21	10	14,4	1,44

Синие глины являются более набухающими, по единичным опытам общее набухание их достигает 27—31%. Как у мало, так и у более набухающих разностей кембрийских глин наибольшее увеличение объема породы происходит в первые 15—20 час., а затем наступает период стабилизации, во время которого в течение 100—150—200 час. происходит ничтожное увеличение объема образцов (рис. 13).

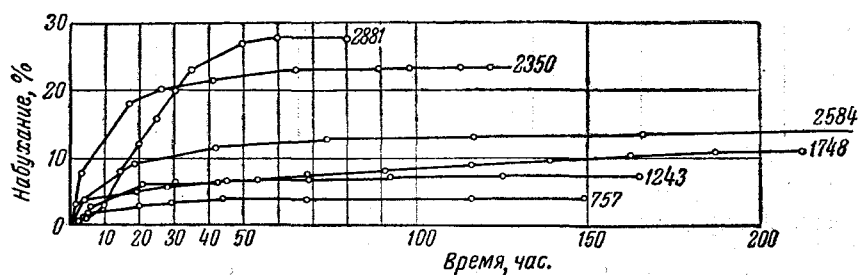


Рис. 13. Кривые набухания лямнаритовых глин

Влажность набухания, т. е. влажность, соответствующая моменту полной стабилизации процесса набухания глин, для всех проб оказалась близкой к влажности, соответствующей пределу пластичности. Любопытно заметить, что интенсивность и характер набухания глин не изменяется и при предварительном уплотнении и обжатии нагрузкой (табл. 18). Предполагалось, что при таком предварительном воздей-

Таблица 18

Набухание лямнаритовых глин после предварительного уплотнения

Лабораторный номер	Нагрузка, при которой предварительно уплотнялась порода, кг/см ²	Влажность начальная, %	Влажность набухания, %	Увеличение влажности при набухании, %	Общее набухание, %
3843	10	13	21	8	7,4
3870	15	12	19	7	10,5
3944	15	13	18	5	7,7
2386	15	12	20	8	13,9
3926	15	12	24	12	19,2
4353	10	12	14	2	5,0
5078	15	9	17	8	6,7
2562	1,5	18	24	6	10,9
5262	0,75	18	24	6	10,9

ствии на глины структурные связи их могут несколько нарушиться и набухаемость глин увеличится. Однако, как показывают специально поставленные опыты, предварительное обжатие нагрузкой до 10—15 кг/см² в общем не изменяет степени набухания глин.

Несмотря на то, что кембрийские глины являются умеренно набухающими, они обладают относительно значительной силой набухания. Сила набухания, т. е. нагрузка, сдерживающая набухание глин при увлажнении, у лямнаритовых глин может достигать 5,2 кг/см² (табл. 19).

Сила набухания ламинаритовых глин

Лабораторный номер	Увеличение влажности при набухании, %	Общее набухание, %	Сила набухания, кг/см ²	Лабораторный номер	Увеличение влажности при набухании, %	Общее набухание, %	Сила набухания, кг/см ²
254	5	8,4	2,92	3926	12	19,6	5,20
5086	3	3,0	2,30	4353	2	5,0	4,00
4806	6	5,9	2,80	2562	6	10,9	1,50
3843	8	7,4	3,60	360	3	7,3	1,08
3870	7	10,5	4,00				

Величина давления набухающей породы в условиях естественного залегания определяется свойствами породы, ее увлажнением, объемом массы набухающей породы, ее общим напряженным состоянием, условиями залегания, гидрогеологическими факторами и т. д. В лабораторных условиях испытания породы влияние многих факторов на ее набухание устраняется. Поэтому при таких испытаниях величину давления при набухании породы следует рассматривать как характеристику сравнительную, зависящую главным образом от свойств породы.

Ламинаритовые глины — породы достаточно уплотненные, но поведение их при воздействии воды неодинаково. Их можно считать умеренно набухающими, но при этом в отдельных случаях они могут вызывать относительно высокие давления. Поэтому, например, в горных выработках значительные давления от набухания, вызванные именно свойствами пород, должны иметь местный характер в отдельных зонах, на отдельных участках. Наибольшего давления следует ожидать у тех разностей, где естественная влажность больше отклоняется от влажности при пределе пластичности. Местные сильные давления от набухания при увлажнении пород могут развиваться сравнительно быстро.

Механические свойства

Сжимаемость. Лабораторные исследования сжимаемости глин производились на образцах естественного сложения, полностью насыщен-

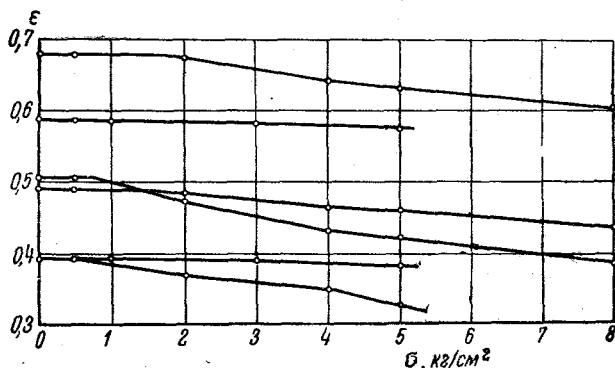


Рис. 14. Компрессионные кривые синих глин

ных водой, т. е. при условиях, близких к естественному залеганию глин. Из данных табл. 20 и 21 и рис. 14 и 15 видно, что кембрийские глины

имеют весьма малую деформируемость. Эффективное давление для синих глин достигает 2—3 кг/см², а для ламинаритовых 5—7 кг/см² и соответствует природной нагрузке У ламинаритовых глин эффектив-

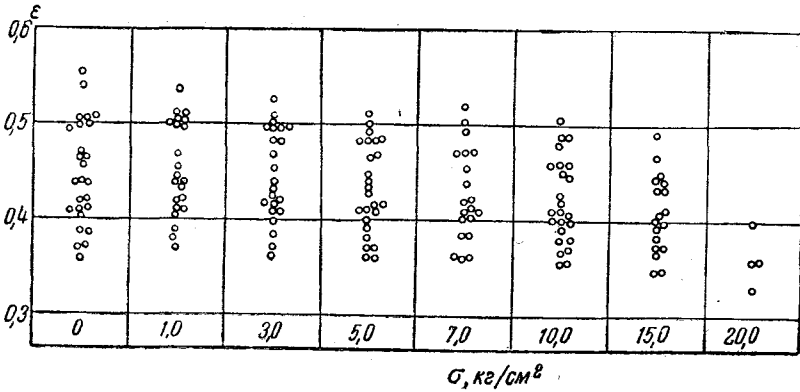


Рис. 15. Изменение коэффициента пористости ламинаритовых глин при уплотнении

ное давление нередко оказывается больше природной нагрузки и свидетельствует о переуплотненности.

Таблица 20*

Испытание синих глин района р. Наровы на компрессию
(по данным Ленгидэпа)

Коэффициент сжимаемости в интервале нагрузок (кг/см ²), см ² /кг					Относительное сжатие в интервале нагрузок (кг/см ²), %				
0—0,5	0,5—2,0	2,0—4,0	4,0—5,0	5,0—8,0	0—0,5	0—2,0	0—4,0	0—5,0	0—8,0
0,000	0,002	0,013	0,001	0,008	0,0	0,3	1,6	2,2	3,6
0,004	0,013	0,010	0,025	—	0,15	1,6	3,7	4,8	—
0,000	0,003	0,015	0,013	0,009	0,1	0,3	2,1	2,9	4,6
0,000	0,016	0,022	0,008	0,013	0,15	2,1	4,4	5,5	8,1
0,000	0,001	0,002	0,003	—	0,0	0,1	0,3	0,6	—
0,000	0,002	0,003	0,003	—	0,0	0,2	0,5	0,6	—

Таблица 21

Испытание ламинаритовых глин района Ленинграда на компрессию

Наименование значения	Коэффициент сжимаемости в интервале нагрузок (кг/см ²), см ² /кг						Относительное сжатие в интервале нагрузок (кг/см ²), %					
	0—1	1—3	3—5	5—7	7—10	10—15	0—1	0—3	0—5	0—7	0—10	0—15
Число определенных	11	14	18	18	18	18	12	18	21	19	24	18
Среднее арифметическое	0,001	0,003	0,004	0,004	0,003	0,003	0,09	0,41	0,87	1,36	2,04	3,15
Квадратическое отклонение	0,0014	0,0026	0,0023	0,0017	0,0016	0,0017	0,04	0,39	0,69	0,94	1,19	1,25
Медиана	0,001	0,002	0,004	0,004	0,003	0,003	0,09	0,20	0,65	1,19	2,01	3,38
Мода	0,001	0,001	0,004	0,006	0,004	0,002	0,10	0,15	0,65	0,89	0,4	—
Максимальное	0,002	0,006	0,007	0,006	0,004	0,005	0,12	0,34	1,83	2,38	3,56	4,40
Минимальное	0,000	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	0,05	0,1	0,1	0,1	0,4	1,1

Коэффициент сжимаемости глин измеряется тысячными долями квадратного сантиметра на килограмм и указывает на малую сжимаемость глин, хотя синие глины уплотняются больше, чем ламинаритовые. Так, например, относительная деформация синих глин при нагрузках до $5-8 \text{ кг/см}^2$ может достигать 5—8%, а ламинаритовых при нагрузке до 15 кг/см^2 обычно не превышает 4—5%.

Уплотняемость кембрийских глин в значительной степени зависит от способа отбора проб для испытаний и главным образом от условий проведения опытов. Замечено, что образцы, вырезанные из керна буровых скважин, как правило, показывают большую деформируемость, нежели образцы, вырезанные из монолитов, отобранных в горных выработках. При бурении, даже при соблюдении необходимой осторожности,

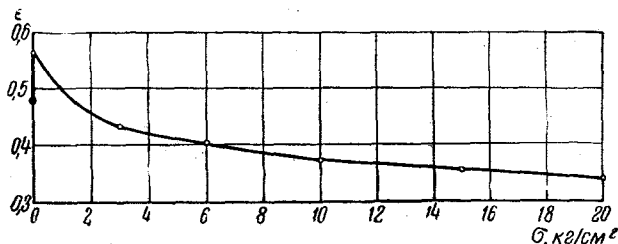


Рис. 16. Компрессионная кривая ламинаритовых глин (глины уплотнялись после предварительного свободного набухания)

всегда происходит некоторое нарушение естественного сложения глин — разуплотнение (вследствие изменения влажности режима благодаря проникновению воды на забой скважины). При отборе монолитов из горных выработок лучше сохраняется естественное сложение глин и почти невероятным является их увлажнение. Поэтому данные испытаний таких образцов ближе характеризуют истинную деформируемость глин.

Так, при сжатии глин, подвергшихся предварительному набуханию, структурные связи в породе нарушались расклинивающим давлением пленок воды, проникающей в породу (рис. 16). В глинах, где процесс набухания происходил после уплотнения нагрузкой до 15 кг/см^2 , структурные связи оказались нарушенными действием нагрузки (рис. 17). Как видно из рис. 16, значительная часть сжатия глин произошла в результате их предварительного разуплотнения — набухания при свободном доступе влаги. Набухание же глин после уплотнения, как показывает рис. 17, совершается быстро и достигает сравнительно значительной величины, и если после такого набухания глины вновь подвергнуть уплотнению, то, естественно, значительная сжимаемость их будет также результатом только разуплотнения — набухания.

На рис. 18, а, б показаны результаты испытаний глин на сжатие под водой и при естественной влажности. Как в том, так и в другом случае при нагрузке выше эффективной (16 и 14 кг/см^2) глины трижды уплотнялись до 20 кг/см^2 и 2 раза разуплотнялись до эффективной нагрузки, а третий раз — до нуля, т. е. выше эффективной нагрузки были получены петли гистерезиса. Из сопоставления этих компрессионных кривых видно, что глины из горных выработок обнаруживают очень малую сжимаемость, являются переуплотненными, обладают малыми остаточными деформациями и проявляют главным образом деформации упругие. При разуплотнении глины естественной влажности набухают только при свободном доступе влаги.

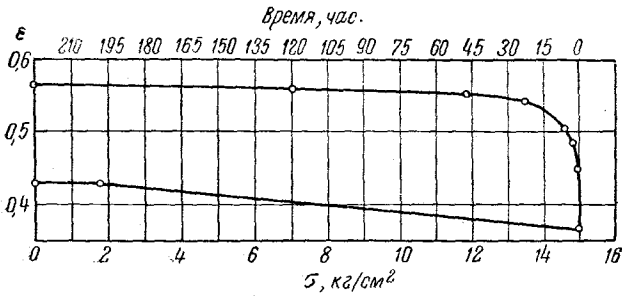


Рис. 17. Компрессионная кривая ламинартовых глин. После уплотнения глины производилось свободное разуплотнение — набухание

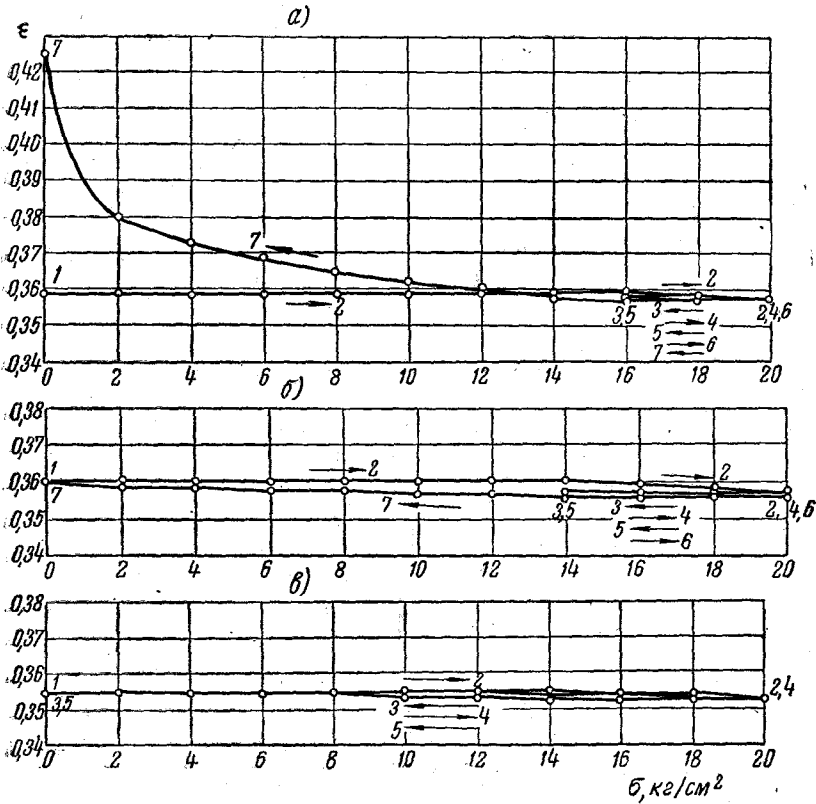


Рис. 18. Компрессионные кривые ламинартовых глин с петлями гистерезиса

В подтверждение изложенного было проведено достаточно большое число опытов по сжимаемости лямбаритовых глин. На рис. 18, в приведена еще одна компрессионная кривая, характеризующая сжимаемость глины естественной влажности, причем уплотнение производилось дважды — ступенями нагрузки до 20 кг/см^2 и разуплотнение — до нуля. Кривые уплотнения, как видно на рисунке, сливаются с кривыми набухания и указывают на практически незначительную сжимаемость глин и при нагрузках до 20 кг/см^2 не обнаруживают сколько-нибудь значительных остаточных деформаций.

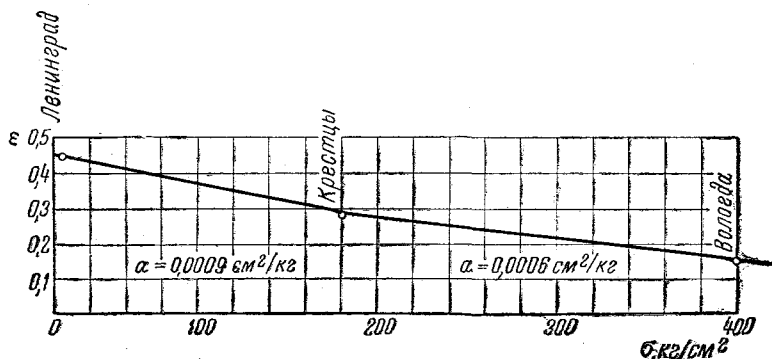


Рис. 19. Компрессионная кривая лямбаритовых глин по данным непосредственного определения пористости по образцам, поднятым из буровых скважин с различной глубины

Таким образом, кембрийские глины в естественных условиях залегания можно считать породами весьма слабосжимаемыми и в пределах названных нагрузок обладающими главным образом упругими деформациями.

Как уже упоминалось, кембрийские глины залегают на различных глубинах и поэтому имеют различное состояние. На рис. 19 приведена компрессионная кривая, построенная по данным определения естественного коэффициента пористости глин по образцам из опорных скважин Ленинграда, Валдая (Крестцы) и Вологда, где глины испытывают природную нагрузку в среднем 5—6, 180 и 400 кг/см^2 . Коэффициент сжимаемости глин, как показывают эти кривые, оказывается равным десяти тысячным долям квадратного сантиметра на килограмм и указывает на достаточно большую уплотненность.

Характеристика упругих свойств

С целью более полной оценки степени деформируемости кембрийских глин в инженерно-геологической лаборатории Горного института производились исследования их упругих свойств. Выполнялись эти исследования для Ленметропроекта, который представил Горному институту соответствующие образцы из горных выработок метрополитена. Исследования гранулометрического состава и физического состояния глин из этих проб полностью подтверждают приведенную выше характеристику о значительной уплотненности кембрийских лямбаритовых глин и показывает, что по физическому состоянию глины из горных выработок несколько отличаются от глин из буровых скважин. Фактически глины имеют несколько большую плотность и меньшую пористость и влажность. Обнаруживается это хорошо и визуально.

В монолитах из метрополитена глины имели большую твердость и прочность, нежели обычные из буровых скважин. Как показали исследования структурной прочности кембрийских глин коническим пластометром по методу П. А. Ребиндера, условное сопротивление глин сдвигу, характеризующее их структурную прочность, измеряется десятками килограммов на квадратный сантиметр и свидетельствует о полутвердом и твердом состоянии (табл. 22).

Таблица 22

Структурная прочность ламинаритовых глин естественного сложения

Лабораторный номер	Естественная влажность	Структурная прочность, кг/см ²	Направление слоистости	Лабораторный номер	Естественная влажность	Структурная прочность, кг/см ²	Направление слоистости
5116	10,4	97,5	Перпендикулярное	5123	12,4	63,4	Перпендикулярное
5117	12,9	76,0	То же	523	12,4	67,7	Параллельное
5125	12,5	73,9	" "				
5127	12,1	91,8	" "	5128	11,3	63,3	Перпендикулярное
5124	11,0	67,7	" "				
5124	11,0	65,9	Параллельное	5121	11,8	106,4	Параллельное
				5122	12,0	86,2	Параллельное

Для характеристики упругих свойств глин, как известно, используются модуль деформации, коэффициент поперечного расширения и коэффициент бокового давления.

Как видно из табл. 23, глины синие существенно отличаются от ламинаритовых. Средний модуль деформации синих глин равен всего 276 кг/см² при испытании кубиков и 922 кг/см² по компрессионным испытаниям, а ламинаритовых 6750 кг/см². Следовательно, синие глины хотя и являются уплотненными, но не так значительно, как ламинаритовые.

Таблица 23

Модуль деформации глин

Наименование значения	Модуль деформации (кг/см ²) при испытании			
	кубиков		на компрессию	
	синие	ламинаритовые	синие	ламинаритовые
Число определений	49	315	19	77
Среднее арифметическое	276	6 750	922	6 750
Квадратическое отклонение	83	3 915	695	6 630
Медиана	280	6 250	800	2 750
Мода	310	5 750	800	2 750
Максимальное	400	12 500	1042	19 000
Минимальное	160	2 500	358	1 000

По степени деформируемости как синие, так и ламинаритовые глины неоднородны, поэтому квадратические отклонения от среднеарифметических значений модуля деформаций велики. Известно, что для материалов, подчиняющихся закону Гука, зависимость деформации

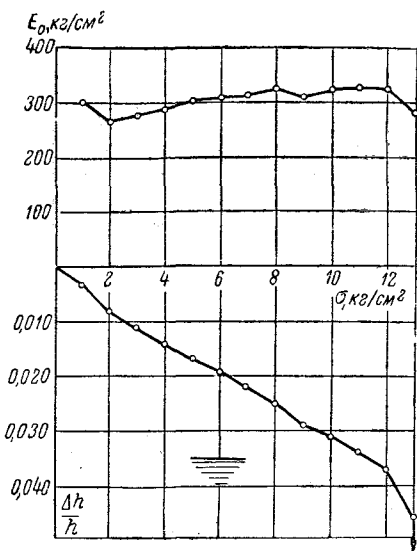


Рис. 20. Графики деформаций и модуля деформации синих глин при нагрузке перпендикулярно слоистости

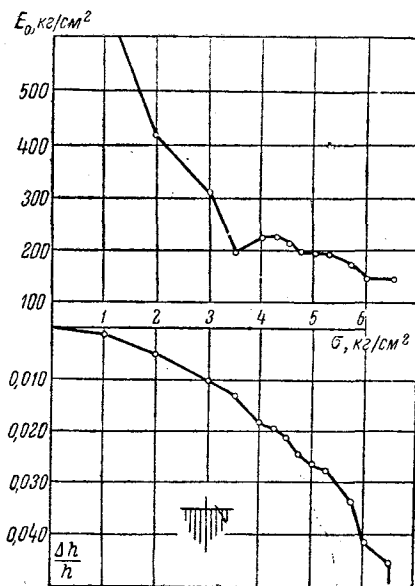


Рис. 21. Графики деформаций и модуля деформации синих глин при нагрузке параллельно слоистости

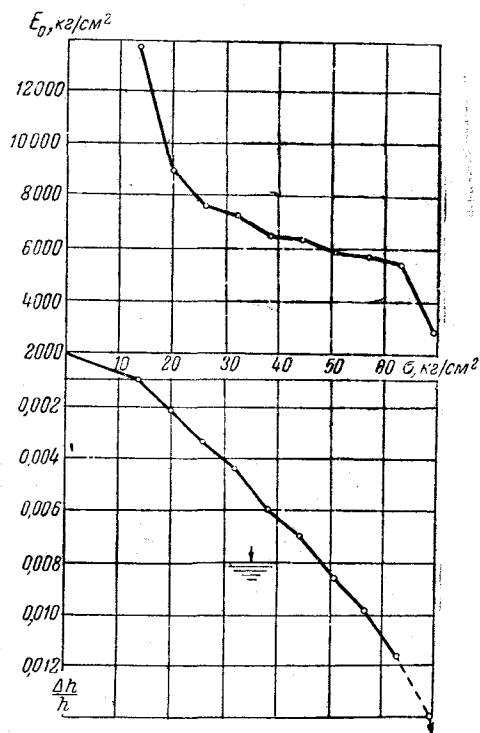


Рис. 22. Графики деформаций и модуля деформации ламинаритовых глин при нагрузке перпендикулярно слоистости

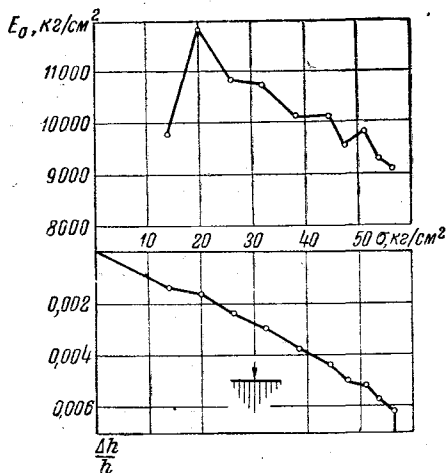


Рис. 23. Графики деформаций и модуля деформации ламинаритовых глин при нагрузке параллельно слоистости

от нагрузки имеет прямолинейный характер. У кембрийских же глин такая зависимость наблюдается в ограниченных и неодинаковых пределах. У синих глин уже при небольших нагрузках деформации растут быстрее напряжений и поэтому предел пропорциональности мал — единицы килограммов на квадратный сантиметр (рис. 20, 21). У ламинаритовых глин условно прямолинейный характер зависимости деформаций от напряжений соблюдается на большом интервале нагрузок и предел пропорциональности достигает нескольких десятков килограммов на квадратный сантиметр (рис. 22—23).

Средний модуль деформации синих глин — при действии нагрузки перпендикулярно слоистости (рис. 24, а) — выше, чем при действии нагрузки параллельно слоистости (рис. 24, в). У ламинаритовых же глин средний модуль деформации при действии нагрузки перпендикулярно слоистости имеет несколько меньшую величину, нежели при действии нагрузки параллельно слоистости. В целом же эти различия модулей деформации глин невелики, и учитывать их при проектировании сооружений в этих породах нецелесообразно.

Из рис. 25 видно, что при испытании ламинаритовых глин на сжатие параллельно слоистости их деформации более неоднородны и значения модуля деформации имеют больший разброс, чем при испытании на сжатие перпендикулярно слоистости.

Как видно из табл. 24, средний модуль деформации ламинаритовых глин мало изменяется на широком интервале сжимающих нагрузок, т. е. от нагрузки нулевой до нагрузки, отвечающей временному сопротивлению глин сжатию. Это свойство — обычное для достаточно уплотненных глин.

Таблица 24

Модуль деформации ламинаритовых глин

Наименование значения	Модуль деформации (кг/см ²) для интервала нагрузок	
	0—32	от 32 до нагрузок временного сопротивления сжатию
Число определений	141	174
Среднее арифметическое	7 620	6 180
Квадратическое отклонение	5 080	2 285
Медиана	6 250	6 000
Мода	5 750	5 750
Максимальное	14 000	9 500
Минимальное	2 500	3 500

По данным исследований, выполненных в Ленинградском инженерно-строительном институте (ЛИСИ) и Всесоюзном научно-исследовательском гидротехническом институте (НИИГ), модуль деформации ламинаритовых глин следующий:

	ЛИСИ	НИИГ
Число определений	28	12
Среднее арифметическое	944	714
Максимальное	1830	2420
Минимальное	197	217

Результаты этих исследований существенно отличаются от наших, хотя методика применялась одна и та же. Это объясняется тем, что в Горном институте для исследований использовались монолиты из

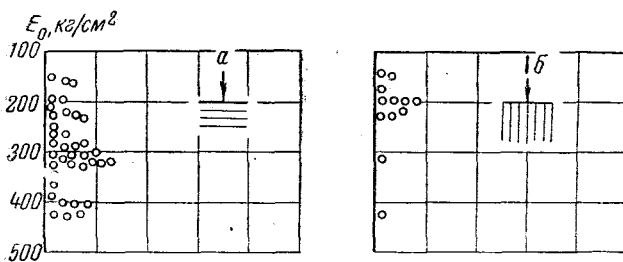


Рис. 24. Распределение значений модуля деформации синих глин

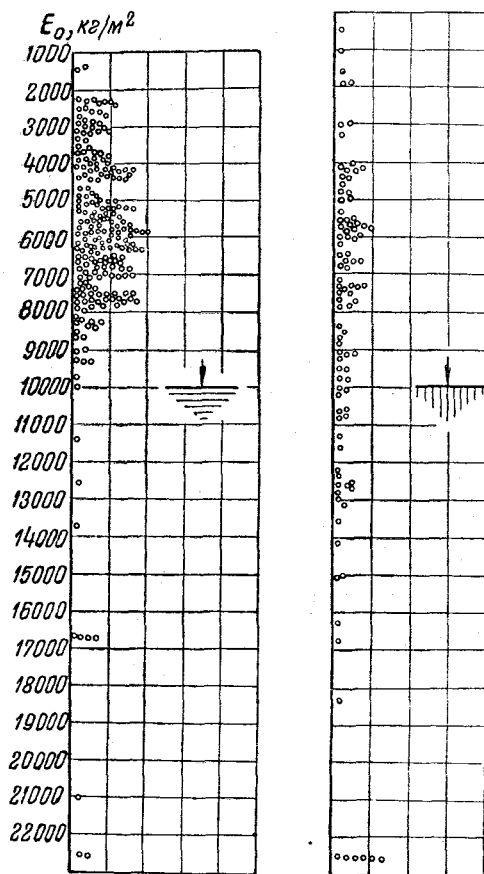


Рис. 25. Распределение значений модуля деформации ламинаритовых глин

горных выработок, а в ЛИСИ и НИИГ — монолиты из буровых скважин, в которых естественное сложение и структурная прочность глин в какой-то степени были нарушены. Как отмечалось выше, при бурении, отборе монолитов грунтоносами всегда происходит некоторое нарушение естественного сложения глин. Это и сказывается на снижении прочности таких образцов глин и увеличении их деформации. Поэтому следует считать, что данные Горного института ближе характеризуют свойство кембрийских глин в их естественном залегании — массиве. Можно предполагать (учитывая естественное состояние, условия залегания, малую трещиноватость и обводненность), что среднее значение модуля деформации лямнаритовых глин в условиях их естественного залегания — в массиве — должно быть выше, чем среднего, полученного в лабораторных условиях по образцам сравнительно малых размеров.

Как известно (табл. 23), модуль деформации определялся двумя методами — при испытании на сжатие кубиков ($E_0 = \frac{\delta}{\lambda}$) и при испытании глин на сжатие в компрессионных приборах ($E_0 = \beta \frac{1+\epsilon}{a}$). Средние значения модуля деформации оказались одинаковыми, хотя квадратические отклонения от средних значений различны. Эти отклонения вследствие особенностей вырезывания образцов при испытании кубиков оказались меньшими, чем при компрессионных испытаниях.

Средние значения модулей деформации синих глин при испытании кубиков равны 276 кг/см^2 при квадратическом отклонении 83 кг/см^2 . По данным же компрессионных испытаний, они соответственно равны 922 кг/см^2 и 695 кг/см^2 , т. е. значительно более высокие и более изменчивые.

Результаты определений коэффициента поперечного расширения и коэффициента бокового давления кембрийских глин сведены в табл. 25.

Таблица 25

Коэффициент поперечного расширения и коэффициент бокового давления синих и лямнаритовых глин

Наименование значения	Коэффициент			
	поперечного расширения для глин		бокового давления для глин	
	синих	лямнаритовых	синих	лямнаритовых
Число определений	50	319	50	318
Среднее арифметическое	0,32	0,13	0,57	0,18
Квадратическое отклонение	0,17	0,12	0,48	0,26
Медиана	0,32	0,10	0,48	0,10
Мода	0,44	0,07	0,80	0,07
Максимальное	0,50	0,28	0,90	0,34
Минимальное	0,10	0,04	0,10	0,04

Коэффициенты поперечного расширения и бокового давления синих глин, как у уплотненных глинистых пород тугопластичной консистенции, нормальные. Лямнаритовые глины по этим показателям характеризуются как весьма уплотненные разности пород, несомненно, полутвердой консистенции, т. е. приближаются к породам полускальным.

Прочность. Кембрийские глины, отличаясь значительной уплотненностью, имеют сравнительно повышенную прочность.

Временное сопротивление ламинаритовых глин сжатию достаточно высокое (табл. 26). Средняя прочность по образцам из горных выработок в 2 раза выше средней прочности, полученной по образцам из буровых скважин. По прочности ламинаритовые глины значительно отличаются от синих, средняя прочность которых равна 5—6 кг/см² и лишь отдельные образцы достигают 10—12 кг/см².

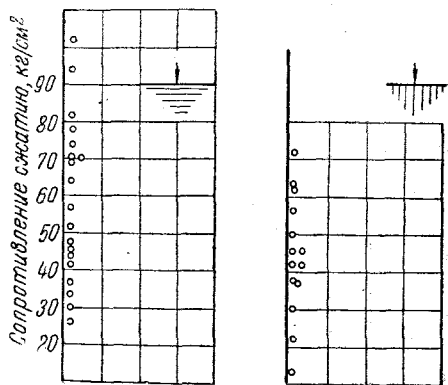


Рис. 26. Распределение значений прочности ламинаритовых глин на сжатие

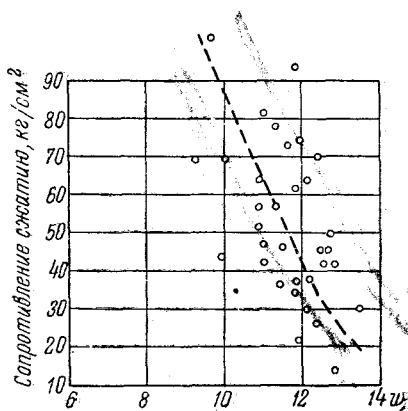


Рис. 27. Зависимость прочности ламинаритовых глин на сжатие от их влажности

На прочность ламинаритовых глин некоторое влияние оказывает слоистость (рис. 26):

	Перпендикулярно слоистости	Параллельно слоистости
Число определений	19	14
Медиана	52	42
Максимально	82	62
Минимально	30	22

Т а б л и ц а 26

Временное сопротивление ламинаритовых глин сжатию

Наименование значения	Временное сопротивление сжатию (кг/см ²) по исследованиям	
	Горного института	различных организаций [14]
Число определений	33	222
Среднее арифметическое	53	25
Квадратическое отклонение	20	—
Медиана	48	—
Мода	48	—
Максимальное	82	—
Минимальное	22	—

Испытание глин на прочность производилось при их естественной влажности. Так как влажность глин изменяется незначительно, влияние

ее на прочность (рис. 27) выявляется слабо, значительно больше сказывается влияние слоистости и скрытой трещиноватости.

Таким образом, по прочности ламинаритовые глины близки к полускальным породам.

Сопrotивление разрыву. Сопrotивление пород разрыву характеризует прочность структурных связей породы — общее сцепление. По дан-

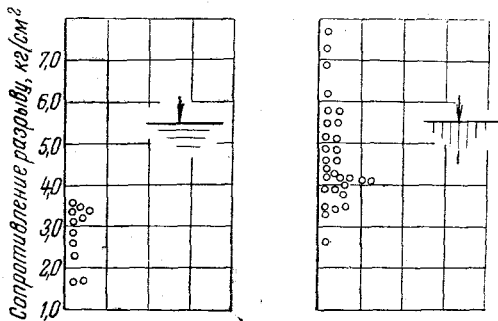


Рис. 28. Распределение значений прочности ламинаритовых глин на разрыв

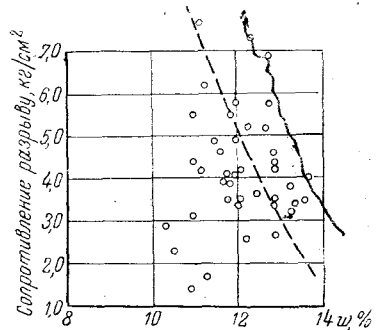


Рис. 29. Зависимость прочности ламинаритовых глин на разрыв от их влажности

ным 41 опыта, среднее сопротивление ламинаритовых глин разрыву равно $4,2 \text{ кг/см}^2$ при квадратическом отклонении $1,37 \text{ кг/см}^2$ (табл. 27, рис. 28). С этими данными согласуются результаты прежних

Таблица 27

Временное сопротивление разрыву ламинаритовых глин

Наименование значения	Сопrotивление разрыву, кг/см^2		
	по данным всех исследований	перпендикулярно слоистости	параллельно слоистости
Число определений	41	11	30
Среднее арифметическое	4,2	—	—
Квадратическое отклонение	1,37	—	—
Медиана	4,0	3,1	4,3
Мода	4,0	—	—
Максимальное	6,2	3,5	6,2
Минимальное	2,6	1,7	3,5

Таблица 28

Исследование на сдвиг синих глин Саблинского месторождения
(по данным Ленинградского горного института)

Сдвигающее усилие при нормальных нагрузках, кг/см^2			Сцепление, кг/см^2	Коэффициент внутреннего трения	Угол внутреннего трения
1	2	3			
0,85	1,30	1,65	0,47	0,40	22°00'
0,80	1,00	1,35	0,57	0,26	15 30
0,90	1,00	1,50	0,53	0,30	16 30
1,10	1,40	1,80	0,73	0,35	19 30

исследований [14]. По 113 опытам среднее сопротивление разрыву оказалось равным $3,57 \text{ кг/см}^2$. Как выяснилось, на сопротивление глины разрыву некоторое влияние оказывает слоистость. Естественная влажность исследуемых образцов изменялась мало, ее влияние на изменение сопротивления разрыву выявляется слабо (рис. 29).

Итак, прочность ламинаритовых глин на разрыв сравнительно высока и в некоторой степени зависит от слоистости и скрытой трещиноватости. Сопротивление разрыву синих глин несравненно более низкое, оно изменяется от долей до $1-3 \text{ кг/см}^2$.

Сопротивление сдвигу. Испытание кембрийских глин на сдвиг производилось на образцах естественного сложения при условии полного насыщения их водой и предварительного уплотнения нормальными нагрузками в 1, 2, 3, 4 и 5 кг/см^2 . Сопротивление сдвигу синих глин, в отличие от ламинаритовых, изучено пока недостаточно.

Таблица 29

Исследование на сдвиг синих глин района р. Наровы
по данным Ленгидэпа (среднее из 19 опытов)

Условия испытания	Сдвигающее усилие при нормальных нагрузках, кг/см^2				Сцепление, кг/см^2	Коэффициент внутреннего трения	Угол внутрен- него трения, град.
	1	2	3	4			
Естественно влаж- ные	—	1,30	1,74	2,18	0,42	0,44	24
Под водой	0,52	0,92	1,32	—	0,12	0,40	22
Естественно влаж- ные	—	1,40	1,85	2,32	0,50	0,45	24
Под водой	0,68	1,06	1,50	—	0,19	0,44	24
Естественно влаж- ные	—	1,20	1,61	2,02	0,38	0,41	22
Под водой	0,43	0,78	1,13	—	0,08	0,35	19

Таблица 30

Исследование на сдвиг ламинаритовых глин района Ленинграда
(по исследованиям Ленинградского горного института)

Наименование значения	Сдвигающее усилие при нормальных нагрузках, кг/см^2				
	1	2	3	4	5
Число определений	61	37	51	11	22
Среднее арифметическое	0,83	1,22	1,74	1,80	2,60
Квадратическое отклонение	0,48	0,61	0,62	0,60	0,76
Медиана	0,70	1,00	1,50	1,80	2,63
Мода	0,70	0,90	1,50	1,80	3,50
Максимальное	1,35	1,80	2,40	2,00	3,50
Минимальное	0,55	0,85	1,20	1,60	1,75

Как видно из табл. 28, 29, 30, как синие, так и ламинаритовые глины обладают повышенным сопротивлением сдвигу. Коэффициент сдвига глин естественной влажности и сложения при нормальных нагрузках от 1 до 5 кг/см^2 , как правило, выше 0,4. В общем сопротивлении сдвигу большое значение имеют силы сцепления, достигающие в среднем $0,4-0,5 \text{ кг/см}^2$.

При насыщении водой сопротивление кембрийских глин сдвигу заметно снижается. При испытании на сдвиг деформации синих глин обычно имеют пластический характер, ляминаритовых же — переходный от сдвига пластического к сколу. Деформации нередко развиваются быстро при повышенных сдвигающих усилиях, а поверхность «сдвига» имеет неровный раковистый излом.

Ляминаритовые глины естественной влажности и сложения при нормальных ($3-5 \text{ кг/см}^2$) и более высоких нагрузках на обычных лабораторных приборах испытать на сдвиг очень трудно, так как деформируются сами приборы (рвутся тяги и т. д.). Поэтому исследование ляминаритовых глин на сдвиг обычно ведется на образцах, насыщенных водой (табл. 30). И даже в таком состоянии ляминаритовые глины отличаются повышенной прочностью на сдвиг. Однако в этом отношении они сравнительно неоднородны и значения квадратических отклонений велики. Среднее арифметическое значение сцепления достигает $0,37 \text{ кг/см}^2$, коэффициент внутреннего трения $0,40$, а угол внутреннего трения 24° . Среднее арифметическое значение коэффициента сдвига при нормальных нагрузках 3 кг/см^2 равно $0,52$.

На данной стадии изученности свойств ляминаритовых глин эти значения могут быть рекомендованы для региональной оценки их качества и как расчетные при предварительном проектировании сооружений (на стадии проектного задания).

Заключение

Нижнекембрийские ляминаритовые глины прибрежно-морского происхождения являются пылеватыми уплотненными разностями гидрослюдистого и каолинитово-гидрослюдистого состава. Структура их пелитовая, переходящая в микроленидобластовую, сложение тонкослоистое. Они обладают малой поглотительной способностью и являются Са-глинами. Окраска глин серая, зеленоватая. В нижних горизонтах она содержит прослойки и линзы песка и слабых песчаников. Эти глины твердые, плотные, разрабатываются только ударными инструментами или взрывным способом. При аэрации они растрескиваются, при увлажнении набухают, но медленно размокают в воде. Слабо сжимаемы, эффективная нагрузка достигает $6-7 \text{ кг/см}^2$, а иногда и выше; обладают высоким сопротивлением сдвигу ($\text{tg } \psi_3 = 0,52$), высоким сопротивлением сжатию и разрыву.

На основании приведенных экспериментальных исследований деформируемости кембрийских ляминаритовых глин можно заключить следующее:

- 1) результаты произведенных исследований подтвердили высокую плотность, прочность и малую сжимаемость глин;
- 2) плотность, прочность и деформируемость глин по данным испытаний монолитов из горных выработок имеют показатели более благоприятные, нежели по данным испытаний монолитов из буровых скважин;
- 3) так как полевых испытаний деформируемости кембрийских глин пока не производилось, при проектировании сооружений следует рекомендовать пользоваться средними значениями коэффициента сжимаемости, модуля деформации, коэффициента поперечного расширения, коэффициента бокового давления и показателей сопротивления сдвигу.

Свойства ляминаритовых глин существенно отличаются от синих. Синие глины имеют морское происхождение, пылеватые, уплотненные, монтмориллонитово-гидрослюдистого состава. Структура их пелитовая

или микролепидобластовая, сложение тонкослоистое. Они обладают малой поглотительной способностью и являются Са-глинами. Окраска их голубовато-зеленая, темно-зеленая или серо-зеленая. Эти глины плотные, пластичной, но чаще тугопластичной или полутвердой консистенции разрабатываются ударными инструментами или взрывным способом; медленно размокают, но умеренно набухают; слабо сжимаемы, эффективная нагрузка достигает 4—5 кг/см²; имеют высокое сопротивление сдвигу; временное сопротивление сжатию не превышает 6—8 кг/см².

Использованная литература

1. Асаткин Б. П. Докембрийские образования, кембрийские и нижнесилурийские отложения Ленинградской области. Геологическая карта южной части Ленинградской области. Тр. Ленинградского геол. треста, 1937, вып. 15.
2. Асаткин Б. П., Котлуков В. А. Геологическая карта СССР, м-б 1 : 1 000 000. Объяснительная записка к листу 0—36 (Ленинград). Госгеолиздат, 1941.
3. Асаткин Б. П. Геологическая карта СССР, м-б 1 : 1 000 000. Объяснительная записка к листу 0—34 вост. пол., 0—35 (Рига—Таллин). Госгеолиздат, 1944.
4. Болдырева А. М. Химико-петрографическое исследование синей глины с р. Поповки. Изв. ВГРО, 1932, вып. 8.
5. Викулова М. Ф. Исследование минералогического состава глин электронным микроскопом. «Советская геология», 1949, № 39.
6. Земятченский П. А. Кембрийская «синяя» глина. Кембрийская глина и ее применение в промышленности. Тр. Гос. исслед.-керамич. ин-та, 1929, вып. 23.
7. Земятченский П. А. Глины СССР. Общая часть. Изд-во АН СССР, 1935.
8. Ломтадзе В. Д. О формировании свойств глинистых пород. Зап. ЛГИ, 1956, т. XXXII, вып. 2.
9. Люткевич Е. М. и Пейсик М. И. Северо-запад Русской платформы. Очерки по геологии СССР, т. 2. Госгеолиздат, 1957.
10. Успенский Н. А. «Синяя» кембрийская глина окрестностей Ленинграда. Зап. Всероссийского минералогич. об-ва, вторая серия, 1941, ч. 70, вып. 2.
11. Яковлева М. Е. Минералогический состав кембрийской глины Ленинградской области. Тр. НИИСТРОйкерамики 1953, вып. 8.
12. Янишевский М. Э. Геологический очерк западной части 31-го листа десятиверстной карты Евр. части СССР, Тр. ГГРУ, 1931, № 78.
13. Янишевский М. Э. Геологическая карта окрестностей Ленинграда. Описание геологического строения окрестностей г. Слуцка. Тр. ВГРО, 1932, вып. 126.
14. Янишевский М. Э. Очерк геологического строения южной части Ленинградской области. Полезные ископаемые Ленинградской области и Карельской АССР. Госгеолиздат, 1936.
15. Янишевский М. Э. Основные черты геологической истории Ленинградской области и сопредельных стран Прибалтики. Уч. записки ЛГУ, серия геолого-почвенных наук, 1949, вып. 17.