

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ Б С С Р

БЕЛОРУССКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

И.Г. ЛУКИНСКАЯ

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ СВОЙСТВ ЛЕНТОЧНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ  
СЕВЕРА БЕЛОРУССИИ

(05.481 - Основания, фундаменты и подземные сооружения)

Диссертация написана на русском языке

А в т о р е ф е р а т  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Минск 1972

Работа выполнена на кафедре "Основания, фундаменты и инженерная геология" Белорусского ордена Трудового Красного Знамени политехнического института.

Научный руководитель -  
доктор технических наук,  
профессор Ю.А.СОБОЛЕВСКИЙ.

Официальные оппоненты:  
доктор геолого-минералогических наук В.К.ЛУКАШЕВ,

кандидат технических наук,  
доцент И.Ю.ШИМКУС.

Ведущее предприятие -  
Институт строительства и архитектуры Госстроя БССР.

Автореферат разослан "18" апреля 1972 г.

Защита диссертации состоится "19" мая 1972 г.

на заседании Объединенного Совета по присуждению ученых степеней по строительным, гидротехническим, строительству коммунальных сооружений и химико-технологическим специальностям при Белорусском ордена Трудового Красного Знамени политехническом институте.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке БПИ.

Просим Вас и сотрудников Вашего учреждения, интересующихся темой диссертации, принять участие в заседании Ученого Совета или прислать свои отзывы (в двух экземплярах), заверенных печатью учреждения, по адресу:

Минск-27, Ленинский проспект, 65, Белорусский политехнический институт. Ученому секретарю Совета.

Ученый секретарь Совета,  
кандидат технических наук,  
доцент

И.С.КАЧАН,

При осуществлении обширной программы строительства в республике в качестве естественных оснований для различного рода сооружений нередко используются грунты, обладающие региональными особенностями. Такими грунтами, широко распространенными в северных районах Белоруссии, являются озерно-ледниковые ленточные отложения валдайского оледенения. Они залегают на небольшой глубине сплошным покровом мощностью до 5-6 и более метров.

Ленточные отложения представляют собой своеобразный генетический тип осадков. Ленточными они называются в связи с четко выраженной слоистостью, которая обусловлена закономерным чередованием глинистых слоев с тонкопесчаными и пылеватými. Текстурированными особенностями ленточных отложений объясняется их анизотропность в отношении фильтрационной способности, сопротивляемости сдвигу, сжимаемости.

Значительный вклад в изучение ленточных отложений как естественных оснований зданий и сооружений внесли отечественными учеными Б.Д.Васильевым, Н.А.Цытовичем, Б.И.Далматовым, Г.И.Тер-Степаняном, С.А.Роза, В.Д.Ломтадзе, М.Н.Кагнер, Р.Э.Дашко, А.Вило, А.А.Аликонисом, В.М.Фурсой и др.

До настоящего времени при изучении ленточных отложений на территории Белорусской ССР основное внимание уделялось вопросам их геоморфологии, стратиграфии, происхождения и вещественного состава. Этому посвящены работы М.М.Цапенко, Н.А.Махнач, Ф.И.Лукашева, Г.И.Горецкого, Л.Н.Вознячука, О.Ф.Якушко, В.А.Дементьева, В.К.Лукашева, Е.А.Ильина, Н.П.Рафгородского и Л.Н.Калипа, Б.Г.Новака, В.Н.Шарай, Т.М.Томилиной, А.И.Верзал, Н.В.Зайцевой, В.С.Комарова, Л.Я.Затуренской, Г.И.Сачка и др.

Несмотря на значительный объем инженерно-геологических изысканий и накопленный опыт строительства крупных жилых и промышленных комплексов физико-механические свойства ленточных отложений севера Белоруссии и условия строительства на них остаются мало исследованными.

Первые сведения об использовании озерно-ледниковых ленточных отложений севера Белоруссии в качестве оснований зданий приведены в отчетах Белгоспроекта, Белпромпроекта, Минскпроекта, БелГИИЗа, Ленгипрогаза, ИСИА Госстроя БССР и в работах Ю.А.Соболевского, Л.К.Морозовой, И.Г.Лукинской, В.А.Кузьмицкого, Ю.П.Еременко и др.

Поскольку строительные свойства этих региональных грунтов

слабо исследованы, настоящая работа ставит перед собой при изучении ленточных отложений следующие задачи:

- 1) исследовать их физико-механические свойства;
- 2) установить зависимость этих свойств от вещественного состава и условий формирования;
- 3) исследовать влияние текстуры и структуры на отдельные физические и механические свойства;
- 4) дать количественную оценку характерных значений, степени изменчивости и характера распределения состава и физико-механических свойств на основе применения методов математической статистики;
- 5) выявить корреляционные связи между показателями состава и механическими свойствами;
- 6) предложить некоторые рекомендации по возведению строительных объектов на озерно-ледниковых отложениях.

Для решения поставленных задач были проведены лабораторные исследования 60 монолитов, отобранных с глубины 2-2,5 м и обследовано ряд строительных объектов в районах Новополоцка, Шарковщины и Витебска. В работе также использованы фондовые материалы Управления геологии при Совете Министров БССР по 48 образцам.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, выводов по каждой главе и общих выводов, перечня использованной литературы и приложений.

В ГЛАВЕ I на основе литературных данных рассматривается комплекс вопросов, касающихся формирования, распространения, условий залегания, гидрогеологии и вещественного состава ленточных отложений. Как установлено, образование озерно-ледниковых ленточных отложений тесно связано с особенностями формирования пород севера Белоруссии в ледниковую эпоху (валдайское оледенение). Наиболее широко эти породы представлены в Полоцкой низменности. Ленточные отложения часто залегают с поверхности земли на неровной донной морене.

Гидрогеологические условия исследуемых пород определяются характером их литологического строения. Ленточные отложения благодаря наличию линз, карманов, прослоев из водонасыщенных пылеватых и тонкозернистых песков нередко являются водоносными породами.

Как показали наши эксперименты, водопроницаемость ленточных отложений в вертикальном и горизонтальном направлениях отличается во многие десятки, а иногда и сотни раз. Поэтому поведение водонасыщенных ленточных отложений в откосах, на дне траншей и в котлованах, а также в основаниях возводимых зданий зависит от фильтрационной анизотропии. В ряде случаев возможен подъём dna котлованов и траншей, что объясняется напорностью фильтрационного потока по песчаным и пылеватым прослоям.

Строительные свойства изученных пород в значительной степени определяются их минералогическим составом и прежде всего составом тонкодисперсной части. По данным В.Н.Шарай, Н.В.Зайцевой, Е.А.Ильина и др., глинистая фракция ленточных отложений севера Белоруссии представлена в основном гидрослюдой с незначительной примесью каолинита и монтмориллонита.

В ГЛАВЕ II изложены результаты экспериментальных исследований физико-химических и водных свойств, а также физического состояния ленточных отложений.

Лабораторные исследования грунтов проведены в соответствии с ГОСТами и известными методическими руководствами (В.Д.Ломтадзе, Е.Г.Чаповский, А.М.Васильев и др.).

Результаты лабораторных исследований валовых проб показали, что преобладающей фракцией в ленточных отложениях является глинистая, содержание которой колеблется в пределах от 31 до 91% при среднем значении около 50%.

В количестве 7-59% (при среднем значении 43%) присутствует пылеватая фракция. На долю фракции более 0,05 мм приходится от 1 до 20%. Изученные ленточные отложения по гранулометрическому составу относятся к глинам, пылевато-глинистым и пылевато-суглинистым грунтам по классификации И.М.Горьковой (1971). Сопоставление данных гранулометрического и микроагрегатного анализов позволило выявить характер структурных связей этих грунтов. Судя по коэффициенту агрегированности, равному 1-1,2, в ленточных отложениях преобладает молекулярный тип структурных связей.

Для исследуемых грунтов характерна невысокая физико-химическая активность. Емкость поглощения их колеблется от 25 до 39 мг/экв на 100 г абсолютно сухой навески. В составе обменных катионов содержится: обменного кальция 16-20 мг/экв, магния 3,5-7 мг/экв и натрия 4-8 мг/экв. Поровые воды - гидрокарбонатно-натриевые с

минерализацией 266-752 мг/л. Сравнение поровых и грунтовых вод показывает, что последние отличаются меньшей минерализацией (240-278 мг/л) с преобладанием в ионном составе гидрокарбонатов и карбонатов кальция. Естественная влажность изменяется в широких пределах от 4,2% (на контакте с грунтовой водой) до 20%, ее среднее значение равно 30%. По величине степени влажности исследуемые грунты находятся в насыщенном водой состоянии ( $G = 0,86-1$ ). Общее количество физически связанной воды составляет 8,4-23,4% в глинисто-пылеватых лентах и 27,5-30% в глинистых. Содержание прочносвязанной воды, приближенно соответствующей гигроскопической, не превышает 4%.

Верхний предел пластичности исследуемых пород составляет от 37 до 63%, предел раскатывания - от 19 до 38% и число пластичности от 18 до 34%. По числу пластичности данные грунты относятся к глинам и имеют консистенцию от твердой до текучепластичной, чаще - тугопластичную. Ленточные отложения - грунты с низкой коллоидной активностью ( $K_p < 0,75$ ), что согласуется с их гранулометрией, минералогическим составом глинистой части и емкостью поглощения. Показатель уплотненности  $K_d$  составляет в среднем 0,77, т.е. степень уплотнения ленточных отложений средняя. Удельный вес пород устойчив и имеет среднее значение 2,75 г/см<sup>3</sup>. Объемный вес естественных образцов колеблется в пределах от 1,6 до 2,07 г/см<sup>3</sup>. Значения объемного веса скелета изменяются от 1,21 до 1,7 г/см<sup>3</sup>. Пористость ленточных отложений составляет чаще всего 40-45%.

Исследуемые грунты в естественном состоянии характеризуются невысоким относительным набуханием (от 1,6 до 8,2%). Однако эти значения возрастают вдвое при нарушении естественного сложения. По величине косвенного критерия набухания (СНИП П-Б.1-62) данные грунты в большинстве случаев относятся к ненабухающим с отношением

$$\frac{\epsilon_0 - \epsilon_T}{1 + \epsilon_0} > 0,3$$

Характер и скорость размокания этих грунтов зависит от исходной влажности и от соотношения глинистых и пылеватых прослоев в образце. При размокании образец разрушается на небольшие кусочки по существующим трещинам. Образцы же, имеющие прослой глины 2-3 см и природную влажность 30-35%, показали слабые признаки размокания, оно обычно протекает больше месяца. Нарушение

естественного сложения значительно увеличивает скорость размокания. Усадка ленточных глин сопровождается уменьшением их объема на 7-21%.

Водопроницаемость изученных грунтов низка, она измеряется величинами от  $1 \cdot 10^{-4}$  до  $6 \cdot 10^{-4}$  м/сутки. В вертикальном направлении водопроницаемость в 20-60 раз меньше, чем в горизонтальном, а под нагрузкой 1,5-2 кг/см<sup>2</sup> - в сотни раз.

ГЛАВА III посвящена изучению механических свойств ленточных отложений на основе как собственных экспериментальных исследований, так и данных, полученных Н.Я.Денисовым, Н.А.Цытовичем, В.Д.Ломтадзе, Н.Н.Масловым, И.В.Поповым, И.М.Горьковой, М.Н.Гольдштейном, П.А.Ребиндером, Е.М.Сергеевым, Р.Э.Дашко, С.Н.Егоровым, А.А.Аликонисом, Ю.П.Еременко, С.А.Роза, В.М.Фурсой, В.А.Кузьмицким и др., касающихся природы прочности глинистых пород, их сжимаемости и сопротивления сдвигу.

Прочность ленточных отложений обусловлена их структурными связями молекулярного характера (стиксотропно-коагуляционными, по П.А.Ребиндеру). Этот вывод подтверждается низким коэффициентом агрегированности и слабой минерализацией поровой воды.

Сжимаемость ленточных отложений исследована в компрессионных приборах. По результатам испытаний построены средние кривые для различных интервалов начального коэффициента пористости. Изменчивость физических свойств ленточных отложений проявляется в широких пределах изменения коэффициента сжимаемости и модуля деформации. Судя по значениям коэффициента сжимаемости, ленточные отложения относятся к среднесжимаемым. Модуль деформации, определенный для интервалов нагрузок 0,5-2,0 кг/см<sup>2</sup>, изменяется в пределах от 30 до 254 кг/см<sup>2</sup>. В исследуемых породах остаточные деформации составляют 40-50%. Сжимаемость ленточных отложений при вертикальном расположении слоев в приборе несколько ниже, чем при горизонтальном. Как установлено В.Н.Шарай и др., глинистые ленты характеризуются микрослоистой текстурой. Очевидно, при вертикальном расположении лент в приборе происходит переориентация глинистых частиц относительно приложенной нагрузки. Для переориентации необходима дополнительная работа, что и выражается в меньшей сжимаемости. При нарушении естественного сложения образцов сжимаемость их увеличивается вдвое. На основании компрессионных испытаний получена зависимость величины модуля деформации от плотности, показателя кон-

систенции и предела раскатывания (табл.1).

Таблица 1

Модуль деформации в зависимости от  $\varepsilon$ ,  $B$  и  $W_p$

Показатель консистен- ции	Модуль деформации при коэффициенте пористости				
	0,6I-0,70	0,7I-0,80	0,8I-0,95	0,96-1,1	1,1-1,25
-0,25-0	-	122	99	-	-
0-0,25	156	120	97	74	-
0,26-0,50	130	-	93	57	53
0,5I-0,75	123	-	85	55	-
Предел рас- катывания					
18,5-22,4	137	97	76	-	-
22,5-26,4	118	91	75	60	-
26,5-30,4	-	79	-	59	53

Величины модулей деформации, полученные путем компрессионных испытаний, сравнивались с установленными на основе испытания ленточных отложений штампом площадью  $600 \text{ см}^2$  (данные ИСиА Госстроя БССР). Соотношение модулей деформации составило 1,3 (табл.2).

Таблица 2

Консистенция	Модуль деформации при коэффициенте пористости				Приме- чание
	0,6I-0,70	0,7I-0,80	0,8I-0,90	0,9I-1,00	
$0 \leq B \leq 0,25$	210	160	-	-	ИСиА (штамп) БПИ (ком- прессия)
	156	120	97	74	
$0,25 \leq B \leq 0,5$	-	130	-	-	ИСиА (штамп) БПИ (ком- прессия)
	130	-	93	57	

Результаты сжимаемости ленточных отложений севера Белоруссии сравнивались с данными о сжимаемости озерно-ледниковых глин Ленинградской области (Б.Д.Ломтадзе, Б.М.Фурса) и Литовской ССР (А.А.Аликонис). Сравнение показало, что ленточные отложения севера Белоруссии близки по сжимаемости к озерно-ледниковым глинам Литовской ССР.

Прочностные характеристики ленточных отложений определялись по схемам неконсолированного, консолидированного сдвига и по методу Н.Н.Маслова. Для сдвига грунта использовались одноплоскостные срезные приборы. Результаты опытов обрабатывались методами математической статистики.

По схеме неконсолидированного сдвига при вертикальных нагрузках от 1 до 3 кг/см<sup>2</sup> на основе 64 опытов определено сопротивление сдвигу ленточных отложений (по глинистым прослоям), которое характеризуется следующими параметрами (табл.3).

Таблица 3

Значения показателей	Прочностные характеристики					
	неконсолидированный сдвиг			консолидированный сдвиг		
	сцепление, кг/см <sup>2</sup>	$tg\varphi$	$\varphi^\circ$	сцепление, кг/см <sup>2</sup>	$tg\varphi$	$\varphi^\circ$
Минимальные	0,130	0,150	7°	0,180	0,15	9°
Максимальные	0,810	0,275	10°30'	1,000	0,45	24°10'
Средние	0,410	0,220	13°40'	0,600	0,30	16°40'

Предварительное уплотнение образцов до полной консолидации приводит к повышению величины сцепления и коэффициента внутреннего трения.

По аналогичным методикам были получены параметры сдвига по пылеватым прослоям образцов. Здесь в большей мере проявляется эффект внутреннего трения  $\tau$  в меньшей — сцепления.

При нарушении естественного сложения прочность падает в 1,5-2 раза.

Путем обработки экспериментальных данных установлена зависимость сцепления и угла внутреннего трения от степени плотности и

консистенции для случая консолидированного и неконсолидированного сдвига по глинистым прослоям (табл.4).

Таблица 4

Угол внутреннего трения и сцепления в зависимости от  $\epsilon$  и  $\beta$

Показатель консистенции	Обозначения: параметров сдвига	Коэффициент пористости			
		0,61-0,70	0,71-0,80	0,81-0,95	0,96-1,1
Неконсолидированный сдвиг					
-0,25-0	с	0,705	0,515	0,440	-
	$\varphi$	20 <sup>0</sup> 30'	16 <sup>0</sup> 53'	14 <sup>0</sup> 05'	-
0-0,25	с	0,550	0,500	0,443	0,368
	$\varphi$	18 <sup>0</sup> 12'	14 <sup>0</sup> 30'	13 <sup>0</sup> 40'	12 <sup>0</sup> 33'
0,26-0,50	с	-	-	0,410	0,300
	$\varphi$	-	-	13 <sup>0</sup> 15'	11 <sup>0</sup>
0,51-0,71	с	-	-	0,387	0,215
	$\varphi$	-	-	13 <sup>0</sup>	8 <sup>0</sup> 55'
Консолидированный сдвиг					
-с,25-0	с	0,830	0,608	0,510	-
	$\varphi$	22 <sup>0</sup> 45'	17 <sup>0</sup> 13'	14 <sup>0</sup> 40'	-
0-0,25	с	0,730	0,600	0,460	-
	$\varphi$	20 <sup>0</sup> 20'	15 <sup>0</sup> 15'	13 <sup>0</sup> 46'	-

Метод Н.Н.Маслова позволил получить зависимости угла внутреннего трения и сцепления от влажности и таким образом характеризовать прочность грунтов в различных состояниях, включая и естественное.

Результаты опытов показали, что величина сцепления ленточных отложений изменяется плавно, от 0,22 кг/см<sup>2</sup> при влажности 30% до 0,62 кг/см<sup>2</sup> при влажности 21%, а коэффициент внутреннего трения составляет соответственно от 0,2 до 0,34.

В ГЛАВЕ IV обобщены результаты статистической обработки экспериментальных данных по исследованию строительных свойств ленточных отложений севера Белоруссии.

Статистические методы используются для решения двух основных задач: анализа строительных свойств ленточных отложений и исследования корреляционных зависимостей между показателями их состава, состояния и механических свойств. Использование математической статистики при обработке опытных данных изученных грунтов является обоснованным, поскольку они имеют сходное литологическое строение толщ, одинаковые структурно-текстурные признаки и постоянный минералогический состав тонкодисперсной части грунтов.

Все вычисления по определению статистик, критерия согласия и корреляционных связей выполнены на ЭВМ "Минск-22" и "ПромИнъ-2", программы для которых были составлены при участии автора. Обобщенные и расчетные (для доверительных вероятностей 0,95 и 0,99) показатели физических и механических свойств приведены в табл.5. Для оценки степени однородности ленточных отложений по показателям состава и физического состояния использован коэффициент изменчивости  $V$ . Большинство показателей физических свойств могут быть оценены по коэффициенту изменчивости как однородные и весьма однородные. В большинстве случаев коэффициент изменчивости не превышает 30%, причем минимальные его значения имеют удельный вес грунта, объемный вес скелета грунта, границы раскатывания и текучести.

Оценка степени близости теоретического нормального распределения показателей состава и свойств к эмпирическому распределению была произведена с помощью критерия А.П.Колмогорова, показателей ассиметрии и эксцесса с последующей оценкой их достоверности. В результате установлено, что у большинства показателей вероятность  $P(\lambda)$  большая, т.е. закон распределения индивидуальных значений близок к теоретическому нормальному. Исключения составляют содержание глинистых частиц и величина предела текучести.

Показатели нормальности распределения по признакам ассиметрии и эксцесса (постоянные Пирсона) в большинстве случаев меньше трех. Полученные значения коэффициентов изменчивости, а также результаты лабораторных определений, нанесенные на графики рассеяния, указывают на неоднородность ленточных отложений по сжимаемости ( $V > 40\%$ ).

В соответствии с графиками рассеяния и значениями  $P(\lambda)$  можно считать, что эмпирическое распределение модуля деформации

Таблица 6

Наименование показателя	Количество определений	Среднее значение	Среднее квадратичное отклонение	Кoeffициент изменчивости	Вероятность P( $\lambda$ )	Вероятность при доверительной вероятности 0,95	Доверительные пределы				
							$\bar{x} + \delta_{\alpha}$	$\bar{x} - \delta_{\alpha}$			
Глинистая фракция, %	96	49,97	16,16	32,34	0,014	3,250	4,320	53,220	46,720	54,290	45,650
Естественная влажность, %	109	29,62	4,44	15,01	0,759	0,640	1,120	30,460	28,780	30,740	28,500
Объемный вес, г/см <sup>3</sup>	107	1,95	0,05	29,65	0,987	0,009	0,012	1,959	1,941	1,962	1,938
Пористость, %	108	45,11	3,98	8,82	0,999	0,762	1,012	45,87	44,34	46,23	43,99
Предел текучести, %	92	46,39	5,69	11,76	0,039	1,181	1,569	49,57	47,27	49,95	46,72
Предел раскатывания, %	92	25,98	2,81	10,84	0,544	0,583	0,775	26,56	25,39	26,75	25,20
Число пластичности, %	92	22,53	3,94	17,49	0,627	0,627	1,098	23,36	21,70	23,63	21,43
Коэффициент сжимаемости, см <sup>2</sup> /кг	95	0,020	0,010	50,90	0,33	0,002	0,0027	0,022	0,018	0,0227	0,0173
Неконсолидированный сдвиг: Сцепление, кг/см <sup>2</sup>	65	0,410	0,153	37,60	0,860	0,036	0,050	0,448	0,372	0,460	0,360
Угол внутреннего трения, град.	65	13°40'	3°30'	26,60	0,990	52°	1°10'	14°52'	12°46'	14°50'	12°30'

отличается от предполагаемого теоретического распределения ( $P(A) < 0,05$ ).

Анализируя полученные значения коэффициентов изменчивости сопротивления сдвигу при нормальных нагрузках 1, 2, 3 кг/см<sup>2</sup> и угла внутреннего трения, приходим к выводу, что ленточные отложения по сопротивлению сдвигу однородны. Характер распределения сопротивления сдвигу и его параметров по экспериментальным данным отвечает закону нормального распределения.

Корреляционным анализом решались две задачи:

- 1) оценивалась теснота зависимости между показателями  $\tau$ ,  $h$ ;
- 2) определялась достоверность зависимости между ними

$$\frac{\tau}{m_{\tau}} > 3, \quad \frac{h}{m_h} > 3$$

Рассмотрены парные корреляционные зависимости коэффициента пористости от влажности, объемного веса, предела текучести, предела раскатывания; коэффициента консистенции от влажности; показателя уплотненности от коэффициента пористости; предела текучести от содержания глинистых частиц; объемного веса от естественной влажности; числа пластичности от содержания глинистых частиц.

Наиболее тесные корреляционные связи получены для зависимостей предела текучести и числа пластичности от содержания глинистых частиц ( $\tau = 0,86$ ;  $\frac{\tau}{m_{\tau}} = 33$ ;  $\tau = 0,92$ ;  $\frac{\tau}{m_{\tau}} = 70$ ) и коэффициента пористости от естественной влажности ( $\tau = 0,84$ ;  $\frac{\tau}{m_{\tau}} = 34$ ). Значительная обратная связь выявлена между объемным весом и естественной влажностью ( $\tau = -0,90$ ;  $\frac{\tau}{m_{\tau}} = 53$ ), а также коэффициентом пористости и объемным весом ( $\tau = -0,80$ ;  $\frac{\tau}{m_{\tau}} = 24$ ). Наиболее низкие значения коэффициентов корреляции получены для связи показателя уплотненности и коэффициента пористости ( $\tau = -0,33$ ), показателя консистенции и влажности ( $\tau = 0,24$ ).

Исследована парная корреляционная связь коэффициента сжимаемости в интервале нагрузок 0,5–1; 1–2; 2–7 кг/см<sup>2</sup> и модуля общей деформации с коэффициентом пористости, естественной влажностью, показателем консистенции, пределом текучести и раскатывания и показателем уплотненности.

Установлено, что коэффициент сжимаемости наиболее тесно связан с естественной влажностью. Коэффициенты их корреляции соответственно равны  $\tau = 0,77$ ; 0,72; 0,82. Связь достоверна, так как  $\frac{\tau}{m_{\tau}} > 3$ . Сравнение величин  $\tau$  и  $h$  показывает, что учет нелинейного характера связи между коэффициентом сжимаемости и влажностью

дает незначительное уточнение. Корреляционная связь коэффициента сжимаемости с другими характеристиками физического состояния слабая или весьма слабая ( $\gamma < 0,5$ ).

Множественная корреляция выявила более высокую связь между показателями сжимаемости и физическими свойствами. Коэффициенты множественной корреляции между  $a$  см<sup>2</sup>/кг (в интервалах уплотняющих нагрузок 0,5-1, и 1-2 кг/см<sup>2</sup>) и значениями  $W$  и  $B$  оказались равными 0,61 и 0,77 против  $\gamma_{aW} = 0,77$  и 0,72. Коэффициенты сжимаемости  $a$  0,5-1 и  $a$  1-2 можно определить по уравнениям:

$$a_{0,5-1} = 0,00175W + 0,074B - 0,0396 ;$$

$$a_{1,0-2,0} = 0,00149W + 0,0456B - 0,032.$$

Модуль деформации имеет удовлетворительную связь с пределом раскатывания и показателем консистенции ( $\gamma = 0,66; 0,68$  и  $0,61$ ). Более высокое значение коэффициента множественной корреляции ( $R = 0,78$ ) получено при одновременном использовании в качестве аргументов  $\varepsilon$  и  $W_p$ . Модуль деформации определяется уравнением:

$$E_{0,5-2,0} = 410,5 - 175,2\varepsilon - 6,8W_p.$$

Выявлена тесная парная корреляционная связь сцепления и угла внутреннего трения с показателем консистенции. Коэффициенты корреляции оказались равными  $\gamma_{c\theta} = -0,92$  ( $\frac{\gamma}{m_z} = 19$ ),  $\gamma_{tg\varphi\theta} = -0,86$  ( $\frac{\gamma}{m_z} = 13$ ) для неконсолидированного сдвига и  $\gamma_{c\theta} = -0,80$  ( $\frac{\gamma}{m_z} = 13$ ),  $\gamma_{tg\varphi\theta} = -0,87$  ( $\frac{\gamma}{m_z} = 10$ ) для консолидированного сдвига. Корреляционная зависимость сопротивления сдвигу и его параметров от пределов пластичности, коэффициента пористости и естественной влажности оказалась слабой и весьма слабой.

Учет показателя консистенции одновременно с влажностью позволил уточнить связь сопротивления сдвигу и его параметров с естественной влажностью. Коэффициенты корреляции оказались выше, чем парные ( $R_{\tau W} = 0,71$ ;  $R_{cW} = 0,96$ ;  $R_{tg\varphi W} = 0,90$ ).

Эмпирические уравнения регрессии, полученные в результате корреляционного анализа, позволяют определить механические свойства грунтов по их простейшим характеристикам.

ГЛАВА У посвящена особенностям поведения ленточных отложений как оснований сооружений. Дается анализ различных причин деформаций зданий, построенных на ленточных отложениях, и соответствующие рекомендации по обеспечению устойчивости сооружений.

Указания по строительству на ленточных глинах Ленинградской области, составленные в 1940 году, в настоящее время требуют ряда уточнений. На основе наших исследований и экспертиз строек Белоруссии высказанные в Указаниях положения могут быть дополнены следующими выводами:

- ленточная текстура водонасыщенных озерно-ледниковых отложений при вскрытии выемок приводит к образованию напорного грунтового потока в пылевато-песчаных лентах;

- напорность грунтовой воды в пылевато-песчаных лентах увеличивает набухаемость ленточных глин на дне котлована, усиливает пучинистость при промерзании и тиксотропное разжижение при динамических воздействиях;

- быстрое загружение мягкопластичных и текучепластичных ленточных глин может завершиться их разрушением вследствие выпора;

- осушение территории дренажом предохраняет ленточные отложения от действия напорного грунтового потока и тем самым способствует уменьшению набухаемости, пучения и тиксотропного разжижения дна выемок;

- пронизывание толщи ленточных отложений сваями приводит к ее дренированию вследствие контактной фильтрации и вызывает эффект отрицательного трения;

- при повышенной теплоотдаче фундаментов и подземных конструкций возможна значительная усадка ленточных глин, особенно мягкопластичной и текучепластичной консистенции;

- поверхностную толщу ленточных отложений на глубину 1,5-2 м от дневной поверхности следует рассматривать как зону аэрации, отличающуюся переменной сезонной влажностью и наличием развитой корневой системы растений.

Вышеизложенные выводы дают возможность предложить следующие рекомендации:

I. В основаниях объектов, возводимых быстрыми темпами, для предохранения водонасыщенных ленточных глин от фильтрационного выпора необходимо устраивать песчаные, гравийные или шлаковые подушки по типу пластового дренажа.

2. Перед раскрытием котлованов и возведением фундаментов в ленточных глинах следует выполнять систематический горизонтальный дренаж строительных площадок и территории застройки в целом.

3. Для легких каменных зданий с целью исключения значительных неравномерных осадок из-за переменного сезонного увлажнения ленточных глин и их усадки при развитой корневой системе деревьев глубину заложения фундаментов следует назначать с учетом толщины зоны аэрации. Для условий Белоруссии эта глубина должна составлять примерно 1,5 м.

4. Недопустимо устройство висячих свай при неполной прорезке ленточных отложений мягко- и текучепластичной консистенции. Сваи должны погружаться в плотные или средней плотности подстилающие слои на глубину, обеспечивающую допустимую осадку фундаментов.

5. Основания из ленточных глин, на которых возводятся установки с повышенной теплоотдачей, должны быть изолированы от теплового потока для исключения усадки грунта.

#### ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Исследуемые грунты благодаря широкому распространению, приповерхностному залеганию и значительной мощности нередко служат естественным основанием и средой для различного рода сооружений.

2. Определяющими факторами физико-механических свойств ленточных отложений явились: приуроченность этих грунтов к низменности, контакт с грунтовыми водами, анизотропность сложения, высокая пылеватость, гидрослюдисто-каолининовый состав и слабая физико-химическая активность тонкодисперсной части.

3. На основе применения методов математической статистики впервые для ленточных отложений севера Белоруссии установлены обобщенные и расчетные показатели физических и механических свойств.

4. Анализ полученных значений коэффициента изменчивости физико-механических свойств показал, что ленточные отложения по большинству показателей являются однородными.

5. Распределение индивидуальных значений большинства характеристик физико-механических свойств близко к теоретическому нормальному распределению. Вероятность  $P(\lambda)$  достаточно большая.

6. Оценка зависимости показателей состава и физико-механических свойств произведена методом корреляционного анализа. Установлено, что в большинстве случаев эта связь выражена слабо и очень слабо.

7. Наиболее тесная корреляционная связь существует:

- а) между коэффициентом сжимаемости и влажностью;
- б) между параметрами сопротивления сдвигу и консистенцией.

8. Разработанные программы для определения на ЭВМ обобщенных показателей и корреляционных связей дают возможность получить необходимые характеристики с достаточной степенью точности и минимальной затратой труда проектировщиков.

9. Исследованные ленточные отложения могут служить вполне удовлетворительными основаниями для сооружений при соблюдении необходимых мер, препятствующих нарушению их естественного сложения.

10. Предложены некоторые рекомендации по учету особенностей ленточных отложений при проектировании и строительстве на них зданий и сооружений.

Основные материалы диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Соболевский Ю.А., Морозова Л.К., Лукинская И.Г. Некоторые инженерно-геологические свойства ленточных глин севера Белоруссии. Материалы I-й научной конференции молодых геологов Белорусской ССР, Минск, 1965.

2. Лукинская И.Г. Сопротивляемость ленточных глин сдвигу. Сб. научных трудов Белорусского политехнического института "Строительство", Минск, 1967.

3. Зайцева Н.В., Лукинская И.Г. Условия осадконакопления и формирования ленточных отложений Полоцкого бассейна. Материалы II симпозиума по истории озер северо-запада СССР. Минск, 1967.

4. Лукинская И.Г. Инженерно-геологические свойства ленточных отложений севера Белоруссии в связи с условиями их формирования. Сб. "Вопросы строительства и архитектуры", раздел "Основания, фундаменты и механика грунтов", вып. I, Минск, "Высшая школа", 1969.

5. Лукинская И.Г. Анизотропность свойств ленточных отложений. Материалы симпозиума по изучению и использованию глин Белоруссии. Минск, 1966.

6. Ерш Г.М., Ловыгин Н.И., Лукинская И.Г., Морозова Л.К., Соболевский Ю.А. Инженерно-геологические условия возведения оснований и фундаментов на территории Белорусской ССР. Материалы I-й Прибалтийской конференции по инженерной геологии, механике грунтов и фундаментостроению. Каунас, 1966.

7. Борзенко М.Н., Лукинская И.Г., Морозова Л.К. К вопросу об отборе проб в полевых и лабораторных условиях. "Основания, фундаменты и механика грунтов", № 1, 1969.

8. Богомолов Г.В., Матвеева И.И., Лукинская И.Г. Химический состав поровых растворов четвертичных глин Белоруссии. Сб. "Антропоген Белоруссии", Минск, "Наука и техника", 1971 (на белорусском языке).

Материалы диссертации доложены на:

1. XXIII-XXV науч.-техн. конференциях Белорусского политехнического института (1965-1971 гг.).

2. I-й научной конференции молодых геологов Белоруссии. Минск, 1965.

3. XLI науч.-техн. конференции Каунасского политехнического института, Каунас, 1967.