

УДК 624.131.3

МОДУЛЬ ДЕФОРМАЦИИ МЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ ПРИ КОМПРЕССИОННЫХ ИСПЫТАНИЯХ

Анализируются методы определения модуля общей деформации мерзлых грунтов. Обобщены литературные данные и результаты более 800 компрессионных испытаний, выполненных авторами при инженерных изысканиях в различных регионах криолитозоны России. Показана несогласованность требований, регламентированных ГОСТ 25100-2011 и СП 25.13330.2012, необоснованность разделения мерзлых мелкодисперсных грунтов на пластично- и твердомерзлые. Обосновано включение в актуализированный СП "Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах" требования расчета оснований на мелкодисперсных грунтах по обеим группам предельных состояний - деформациям и несущей способности. Приведены предложения по определению модуля деформации из компрессионных испытаний.

РОМАН ЛИДИЯ ТАРАСОВНА

Доктор геолого-минералогических наук, профессор, ведущий научный сотрудник кафедры геокриологии геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, член РОМГГиФ (Москва, Россия).

Основное направление научной деятельности - механика мерзлых грунтов.

Автор более 200 опубликованных работ.

КОТОВ ПАВЕЛ ИГОРЕВИЧ

Кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник кафедры геокриологии геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, член РОМГГиФ (Москва, Россия).

Основное направление научной деятельности - механика мерзлых и оттаивающих грунтов.

Автор 22 опубликованных работ.

ЦАРАПОВ МИХАИЛ НИКОЛАЕВИЧ

Кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник кафедры геокриологии геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, заместитель директора Центра нефтегазового инжиниринга МГУ (Москва, Россия).

Основные направления научной деятельности - механика мерзлых и оттаивающих грунтов, расчеты оснований на оттаивающих грунтах, устойчивость откосов.

Автор 20 опубликованных работ.

Введение

В ныне действующем СП 25.13330 [1], прошедшем первую актуализацию СНиПа 2. 02. 04 - 88 [2], осталось неизменным требование подразделения грунтов на пластично- и твердомерзлые. Указанные состояния, как записано в данном СП, "необходимо определить в зависимости от состава, температуры, степени влажности в соответствии с ГОСТ 25100 - 2011 [3], с учетом сжимаемости под нагрузкой. К твердомерзлым следует относить практически несжимаемые грунты с коэффициентом сжимаемости $m_f \leq 0,01 \text{ МПа}^{-1}$, к пластично-мерзлым - грунты с коэффициентом сжимаемости $m_f > 0,01 \text{ МПа}^{-1}$ ".

Так как в соответствии с [2] твердомерзлые грунты должны рассчитываться только по несущей способности, а пластично-мерзлые как по несущей способности, так и по деформациям, определение состояния мерзлых грунтов имеет важное практическое значение.

Соответственно, ошибки, вызванные некорректным определением коэффициента сжимаемости на основе испытаний только в одном физическом состоянии образцов ненарушенного сложения, либо по температуре грунта [3], на практике могут привести к неоправданному отказу от расчетов по деформациям и повышенным рискам при использовании многолетнемерзлых грунтов в основаниях сооружений.

Образцы ненарушенного сложения для обязательных компрессионных испытаний (ГОСТ 12248-2011) [4], как правило, отбираются из одного керна. Полученные на их основе данные не позволяют надежно оценить коэффициент сжимаемости (и модуль деформации) для всего диапазона физических, в том числе температурных состояний грунта в прогнозный период.

Представляется некорректным определять температурные границы твердомерзлого (T_h) и пластично-мерзлого состояний различных видов мелкодисперсных незасоленных грунтов в

Таблица 1

Грунты	Состояние	
	твердомерзлое ($m_f \leq 0,01 \text{ МПа}^{-1}$) при $T < T_h, ^\circ\text{C}$	пластично-мерзлое ($m_f > 0,01 \text{ МПа}^{-1}$) при $T, ^\circ\text{C}$
Пески мелкие и пылеватые	$T_h = -0,3$	$T_h < T < T_{bf}^*$
Супесь	$T_h = -0,6$	
Суглинок	$T_h = -1,0$	
Глина	$T_h = -1,5$	

* T_{bf} – температура начала замерзания грунтовой влаги

Таблица 2

Характеристика грунта	Суммарная нагрузка на образец σ на ступенях, МПа	Общий модуль деформации E_0 , МПа	
		$E_{0,cp}$	E'_0
Глина ленточная $W_{tot} = 36,4\%$, $\rho_f = 1,54 \text{ г/см}^2$, $T = -3,6^\circ\text{C}$, $t = 758 \text{ ч}$	0,2	33,3	43,2
	0,4		36,3
	0,8		32,0
Песок мелкозернистый, $W_{tot} = 21,5\%$, $\rho_f = 1,37 \text{ г/см}^2$, $T = -3,8^\circ\text{C}$, $t = 215 \text{ ч}$	0,1	36,0	80,0
	0,2		16,1
	0,4		57,1
	0,8		67,0
Супесь Игарская $W_{tot} = 26,8\%$, $\rho_f = 1,88 \text{ г/см}^2$, $T = -0,4^\circ\text{C}$, $t = 1189 \text{ ч}$	0,1	38,0	33,3
	0,2		28,0
	0,4		31,0
	0,8		59,0
Суглинок Игарский сетчатой ткстуры $W_{tot} = 41,9\%$, $\rho_f = 1,71 \text{ г/см}^2$, $T = -3,8^\circ\text{C}$, $t = 323 \text{ ч}$	0,1	50,0	-
	0,2		80,0
	0,4		44,0
	0,6		19,0
	0,8		25,0

Примечание: W_{tot} – влажность полной влагоемкости; ρ_f – плотность грунта; модуль E_0 вычислялся по (1); $E_{0,cp}$ – по m_f , определенному методом наименьших квадратов; E'_0 – по m'_f на ступенях нагружения; β принимался равным 0,8

соответствии с табл. 1 (табл. Б. 32 ГОСТ 25100-2011 [3]), поскольку интенсивные фазовые переходы происходят в более широком температурном диапазоне (в глинистых грунтах до минуса 6°C и ниже).

Температурная граница твердомерзлого состояния является завышенной не только для дисперсных грунтов, но и крупнообломочных, так как их свойства должны определяться по мелкодисперсному заполнителю.

Авторами выполнен анализ экспериментальных данных и теоретических решений, направленный на решение проблемы выделения пластично-мерзлого и твердомерзлого состояний мелкодисперсных грунтов. Рассматриваются две основные характеристики мерзлых грунтов: компрессионный коэффициент сжимаемости m_f и модуль общей деформации E_0 , которые связаны между собой соотношением:

$$E_0 = \beta / m_f, \quad (1)$$

где β – коэффициент, учитывающий боковое расширение грунта $\beta = 1 - 2\mu^2 / (1 - \mu)$; μ – коэффициент относительной поперечной деформации, аналогичный коэффициенту Пуассона.

Экспериментальные методы определения деформационных характеристик мерзлых грунтов

Полевые определения деформационных характеристик штампами трудоемки и связаны с необходимостью обеспечения постоянного температурного режима в процессе испытания. Известны лишь единичные полевые испытания мерзлых грунтов: Г.Н. Максимова при участии Л.П. Гавелиса [5] в Норильске; С.С. Вялова в Игарке [6, 7], И.Н. Вотякова [8], Н.А. Цытовича [9].

Лабораторные методы определения m_f и E_0 регламентированы ГОСТом [4]. Они включают в себя испытания в условиях одноосного сжатия и компрессии.

Испытание на одноосное сжатие является довольно трудоемким и, как правило, широко не используется для определения модуля деформации оснований. При инженерных изысканиях m_f и E_0 устанавливаются, главным образом, лабораторными компрессионными испытаниями.

Одноосным сжатием определялись деформационные характеристики: модуль линейной деформации E_0 , коэффициент поперечного расширения β , а также коэффициент A_α , который позволяет учесть проявление нелинейности деформации.

Испытывались цилиндрические образцы грунта ненарушенного сложения природной плотности, влажности и льдистости диаметром не менее 70 мм, высотой 140 мм. При этом льдистость ограничивалась $i < 0,4$, толщина прослоек – не более 2 мм. Испытания выполнялись ступенчатой нагрузкой и продолжались до наступления стадии незатухающей ползучести на каждой ступени, или достижения относительной осадки 0,2.

Для определения E_0 опытные данные обрабатывали по теории наследственной ползучести. Коэффициент нелинейной деформации A_α определялся на основе обработки опытных данных по теории старения [10]. В предыдущих нормативных документах m_f определялся единой зависимостью условно стабилизированной деформации на каждой ступени нагружения от напряжения, тогда как современный ГОСТ [4] требует дискретного определения m_f в исследуемом диапазоне напряжений. В табл. 2 приведены m_f и E_0 мелкодисперсных мерзлых

Таблица 3

Грунт	Параметры	Температура, °С							
		-1	-2	-3	-4	-5	-10	-15	-20
Песок	μ	0,30	0,25	0,24	0,23	0,22	0,21	0,21	0,21
	β	0,74	0,83	0,85	0,86	0,89	0,89	0,89	0,89
Суглинок	μ	0,39	0,38	0,37	0,36	0,35	0,33	0,32	–
	β	0,50	0,53	0,57	0,60	0,62	0,68	0,70	–

Таблица 4

Грунт	Параметры при $T = -4^{\circ}\text{C}$	
	μ	β
Супесь	0,30...0,40	0,70...0,50
Суглинок	0,25...0,40	0,80...0,50
Глина	0,35...0,45	0,60...0,30

Таблица 5

Грунты	Диапазон температуры, °С	β
Песок	$T < T_{bf}$	0,8
Супесь, Суглинок	$T_{bf} < -6 < T$	0,5
	$T < -6$	0,7
Глина	$T_{bf} < -6 < T$	0,3
	$T < -6$	0,6

грунтов, рассчитанные по опытным данным А.Г. Бродской [11].

Из таблицы следует неоднозначная зависимость E_0 от σ , что объясняется разной скоростью уплотнения грунтов на ступенях нагружения. Однако для всех указанных нагрузок и температур модуль деформации исследуемых грунтов не достигает значений, характеризующих твердомерзлое состояние, согласно нормативным документам.

Исследования А.Д. Фролова [12] позволили выявить зависимость коэффициента Пуассона μ , а, следовательно, и β от температуры для песка и суглинка (табл. 3). С.В. Карлар [13] определил пределы μ и β для различных мелкодисперсных грунтов в диапазоне температуры от минус 1°С до минус 23°С (табл. 4).

Полученные данные свидетельствуют о необходимости принимать β дифференцированно в зависимости от вида грунта и температуры (табл. 5).

Зависимость модуля общей деформации мелкодисперсных мерзлых грунтов от состава, физических свойств и температуры

Многочисленными исследованиями установлены закономерности ползучести мерзлых мелкодисперсных грунтов, обусловленные их реологическими свойствами, проявляющимися при всех видах испытаний. Определяющую роль при этом играет гранулометрический, минеральный и химический состав, физические

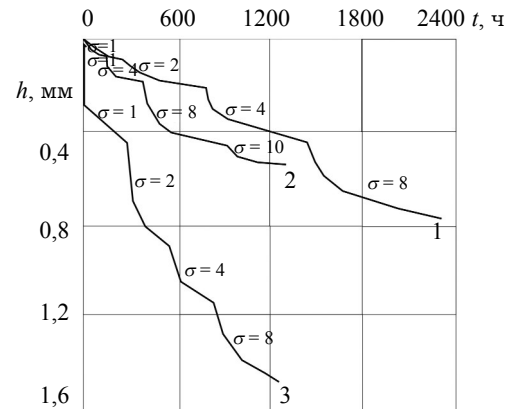


Рис. 1. Развитие во времени деформаций компрессионного уплотнения различных видов мерзлых грунтов [11]:

1 - суглинок слоистой криогенной текстуры ($W_{tot} = 92\%$, $T = -4,2^{\circ}\text{C}$); 2 - суглинок массивной криотекстуры ($W_{tot} = 33\%$, $T = -4,2^{\circ}\text{C}$); 3 - суглинок слоистой текстуры ($W_{tot} = 92\%$, $T = -0,5^{\circ}\text{C}$)

свойства, криогенная текстура, температура, от которой зависит фазовый состав поровой влаги, внутренние объемные напряжения. Наглядный пример компрессионного уплотнения мерзлого суглинка по данным А.Г. Бродской [11] приведен на рис. 1. Из рисунка видно, что деформация за одинаковый период времени при $T = -0,5^{\circ}\text{C}$ увеличилась в 4 раза по сравнению с таковой при $T = -4,2^{\circ}\text{C}$. Следует подчеркнуть также неоднозначность влияния криотекстуры в зависимости от суммарной площади контакта внутри порового льда с поверхностью частиц грунта. При одинаковой льдистости ползучесть увеличивается с увеличением числа шпиров льда [14].

Исследуемые грунты прибрежной части Центрального Ямала находятся в зоне сплошного распространения многолетнемерзлых грунтов и относятся к морским верхнеплейстоценовым отложениям, которые формируют в основном водораздельные поверхности. Они характеризуются сложным фациально неоднородным переслаиванием глинистых грунтов. Преобладают тонкодисперсные суглинистые разности с высокой льдистостью и сетчатой тонкошпировой криогенной текстурой. По засоленности грунты относятся в основном к слабо- и средnezасоленным.

Грунты района северо-западного направления от Нового Уренгоя находятся в зоне сплошного распространения многолетнемерзлых грунтов и относятся к средне- и верхнеплейстоценовым ледово-морским отложениям. Разрез большей части территории сложен суглинком, пески и супеси имеют подчиненное значение. Для них характерны массивные и тонкошпировые слоистые криогенные текстуры. Верх-

Таблица 6

Грунт	Место отбора образцов	$T, ^\circ\text{C}$	n	$\rho, \text{г/см}^3$	$W_{\text{от}}, \text{д.е.}$	$i, \text{д.е.}$	$E_0, \text{МПа}$
Глина	Ямал	-3	56	$\frac{1,10-1,95}{1,65}$	$\frac{0,23-0,69}{0,39}$	$\frac{0,01-0,20}{0,14}$	$\frac{2,2-14,1}{5,6}$
	Н. Уренгой	-1,5	12	$\frac{1,50-2,01}{1,72}$	$\frac{0,18-0,70}{0,38}$	$\frac{0,18-0,54}{0,32}$	$\frac{11,4-20,3}{16,5}$
	Ю. Якутия	-1	12	$\frac{1,42-1,84}{1,62}$	$\frac{0,28-0,60}{0,36}$	$\frac{0,02-0,33}{0,11}$	$\frac{14,2-18,7}{16,4}$
Суглинок	Ямал	-3	227	$\frac{1,20-2,07}{1,68}$	$\frac{0,19-0,99}{0,39}$	$\frac{0,01-0,66}{0,22}$	$\frac{4,1-40,3}{14,2}$
	Н. Уренгой	-1,5	153	$\frac{1,49-2,13}{1,92}$	$\frac{0,13-0,60}{0,24}$	$\frac{0,08-0,49}{0,27}$	$\frac{9,7-54,7}{28}$
	Ю. Якутия	-1	40	$\frac{1,42-2,01}{1,74}$	$\frac{0,12-0,56}{0,31}$	$\frac{0,02-0,46}{0,24}$	$\frac{7,4-46,6}{22,5}$
Супесь	Ямал	-3	124	$\frac{1,12-1,99}{1,74}$	$\frac{0,19-0,92}{0,32}$	$\frac{0,02-0,45}{0,26}$	$\frac{5,5-38,4}{19,3}$
	Н. Уренгой	-1,5	25	$\frac{1,69-2,14}{1,92}$	$\frac{0,10-0,32}{0,21}$	$\frac{0,13-0,36}{0,27}$	$\frac{11,5-54,8}{29,4}$
	Ю. Якутия	-1	12	$\frac{1,48-2,03}{1,75}$	$\frac{0,10-0,55}{0,30}$	$\frac{0,03-0,49}{0,31}$	$\frac{15,2-48,8}{29,7}$
Песок	Ямал	-3	28	$\frac{1,67-1,98}{1,83}$	$\frac{0,19-0,32}{0,25}$	$\frac{0,32-0,46}{0,39}$	$\frac{6,1-75,5}{32,4}$
	Н. Уренгой	-1,5	12	$\frac{1,70-2,08}{1,92}$	$\frac{0,18-0,25}{0,21}$	$\frac{0,32-0,41}{0,37}$	$\frac{14,6-53,1}{32,1}$
	Ю. Якутия	-1	55	$\frac{1,69-2,07}{1,83}$	$\frac{0,11-0,34}{0,26}$	$\frac{0,24-0,51}{0,41}$	$\frac{10,9-102,3}{36,2}$

Примечание: E_0 для всех грунтов рассчитано при $\beta = 0,8$

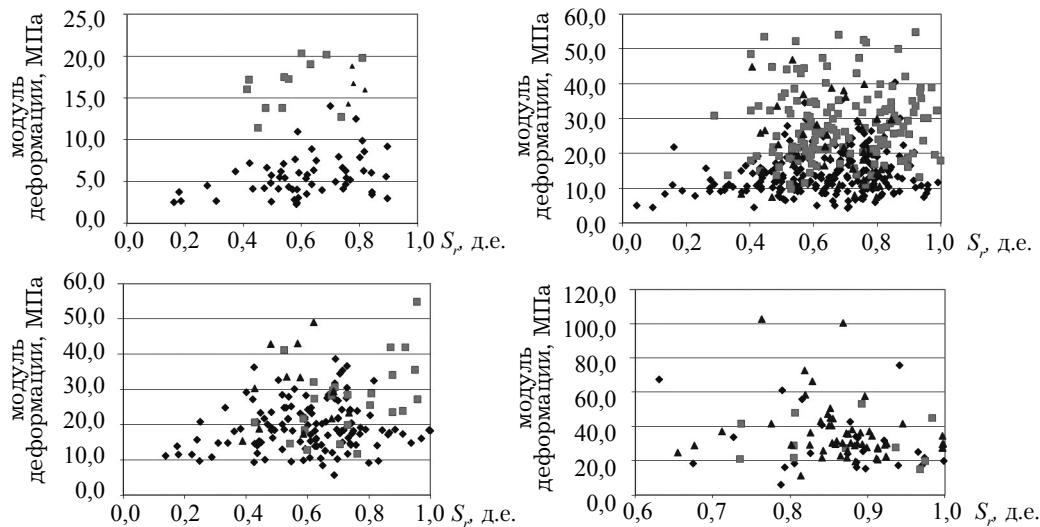


Рис. 2. Зависимость модуля деформации мерзлых грунтов от степени водонасыщения и температуры для различных регионов криолитозоны России: а - глина; б - суглинок; в - супесь; г - песок; ▲ - 1 Якутия; ■ - 1,5 Уренгой; ◆ - Ямал

ние горизонты характеризуются достаточно высокой влажностью, которая с глубиной уменьшается.

Грунты района южной Якутии находятся в зоне прерывистого распространения многолетнемерзлых грунтов и относятся к аллювиально-делювиальным отложениям долин ручьев и временных водотоков. Комплекс представлен суглинками, супесями, местами с прослоями песков, с включениями гравия и гальки. Таким образом, исследованные многолетнемерзлые

грунты региона преимущественно мелкодисперсные. Физические свойства и модуль деформации, при $\beta = 0,8$ приведены в табл. 6.

Большой разброс показателей физических и деформационных характеристик связан с разнообразием строения и криогенной текстуры испытанных образцов.

Для установления зависимости модуля деформации от физических свойств мелкодисперсного мерзлого грунта (рис. 2) выбран параметр степени водонасыщения (S_r), который отражает

Таблица 7

Грунт, $T = -(1...3)^\circ\text{C}$	Песок	Супесь	Суглинок	Глина
S_r	0,7...1,0	0,4...1,0	0,4...1,0	0,4...0,8
E_0 , МПа	20...80	10...50	7...55	3...20

Таблица 8

Методы испытания и обработки	Свойства грунта при температуре T	E_0 , МПа	Авторы
Плоский штамп $\sigma = 0,3\sigma_0$ температурно-временная аналогия	Супесь (плотность от 1,6 до 1,8 г/см ³ ; влажность 0,23; $T = -5^\circ\text{C}$)	54,0	[18]
	Глина (плотность от 1,66 до 1,72 г/см ³ ; влажность от 0,35 до 0,40; $T = -5^\circ\text{C}$)	48,0	
Шариковый штамп $\sigma = \sigma_\infty$ температурно-временная аналогия	Песок мелко-зернистый (плотность 1,8 г/см ³ ; влажность 0,23; $T = -5^\circ\text{C}$)	71,0	
	Торф верховой, среднеразложившийся (плотность 1,03 г/см ³ ; влажность 4,95; $T = -5^\circ\text{C}$)	23,0	
Одноосное сжатие засоленно-временная аналогия	Засоленный суглинок (плотность 1,85 г/см ³ ; влажность от 0,27 до 0,29; засоленность 0,2% $T = -5,7^\circ\text{C}$)	21,0	[19]
	Засоленный суглинок (плотность от 1,85 до 1,87 г/см ³ ; влажность от 0,27 до 0,29; засоленность 0,4% $T = -5,7^\circ\text{C}$)	14,5	

Примечание: σ_0 - условно-мгновенная; σ_∞ - предельно-длительная прочность при данной температуре

отношение влажности к полной влагоемкости [15] и зависит от W_{100} , коэффициента пористости ε , плотностей воды и частиц грунта ρ_w и ρ_s .

Анализ полученных зависимостей позволяет установить общую закономерность роста деформации с увеличением суммарной влажности до значений близких к полной влагоемкости. Этот вывод подтверждает установленную ранее закономерность увеличения прочности и снижения ползучести мерзлых грунтов при различных видах испытаний [9, 14...17 и др.].

Как можно видеть, для всех испытанных видов грунтов из различных регионов криолитозоны во всем диапазоне изменения физических свойств и температуры, (за исключением нескольких значений для песка района Якутии), $E_0 < 80$ МПа (табл. 7), что соответствует граничному $m_f = 0,01$ МПа⁻¹ при $\beta = 0,8$.

В таблице прослеживается снижение модуля деформации с увеличением дисперсности грунтов: песок > супесь > суглинок > глина.

Для расширения представлений о зависимости длительного модуля деформации от свойств грунтов и температуры выполнен анализ его значений при различных видах испытаний на основе методов временных аналогий, применимость которых для исследования мерзлых грунтов показана в [15...19]. Методы временных аналогий позволяют экспериментально определить модуль деформации мерзлых грунтов на период времени, сопоставимый со сроками эксплуатации сооружений. В табл. 8 приведен средний модуль деформации различных видов мерзлых грунтов за 50 лет.

Результаты экспериментов показывают, что при различных методах испытаний и обработ-

ки опытных данных, для исследованных мелкодисперсных мерзлых грунтов в диапазоне температуры естественного залегания модуль общей деформации E_0 ниже значения, определяющего твердомерзлое состояние.

Выводы

1. На модуль деформации мерзлых мелкодисперсных грунтов влияют генезис, состав, физические свойства грунтов, температура, напряжения и время, что не позволяет принимать единые обобщенные значения E_0 в нормативных документах. В связи с этим представляется целесообразным разработку региональных норм, в которых возможен учет генезиса, характерного состава и физических свойств мерзлых грунтов, диапазона расчетных температур.

2. При инженерных изысканиях наиболее доступно определять E_0 по результатам компрессионных испытаний с обработкой опытных данных по ГОСТ 12248-2010, с учетом коэффициента β в зависимости от температуры и вида грунта.

3. Установлено, что таблица Б. 32 ГОСТ [3] не соответствует реальным границам между пластично-мерзлым и твердомерзлым состояниями мелкодисперсных грунтов.

4. Учитывая, что в соответствии с результатами исследований различных авторов, практически для всех видов мелкодисперсных грунтов в криолитозоне России, при температурах, формально соответствующих (согласно [3]) твердомерзлому состоянию, модуль деформации оказался ниже 80 МПа, предлагается внести в нормативные документы требование обязательного расчета оснований, сложенных такими грунта-

ми по двум группам предельных состояний, за исключением случаев, обоснованных прямыми экспериментальными исследованиями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 25.13330.2012. Основания и фундаменты на вечномёрзлых грунтах. - М.:ФЦС, 2012. - 52 с.
2. СНиП 2.02.04 88 Основания и фундаменты на вечномёрзлых грунтах. - М.: ФЦС, 2012. - 52 с.
3. ГОСТ 25100-2011. Грунты. Классификация. - М.: Стандартинформ, 2013. - 42 с.
4. ГОСТ 12248-2010. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости. - М.: Стандартинформ, 2011. - 109 с.
5. Гавелис Л.П., Максимов Г.Н. Исследования грунтов района Норильска пробными нагрузками // "ОФМГ". - 1959. - № 3. - С. 10-13.
6. Вялов С.С. Длительная прочность мерзлых грунтов и допускаемые на них давления // Тр. Игарской научно-исследовательской мерзлотной станции. - 1954. - Вып. 1. - С. 22-91.
7. Вялов С.С. Осадка опытных штампов на пластично-мерзлых грунтах // "ОФМГ". - 1978. - № 5. - С. 130 - 132.
8. Вотяков И.Н. Физико-механические свойства многолетнемерзлых грунтов Центральной Якутии. - М.: Изд-во Ан СССР, 1961. - 64 с.
9. Цытович Н.А. Механика мерзлых грунтов. - М.: Высшая школа, 1973. - 448 с.
10. Вялов С.С. Реологические основы механики грунтов. - М.: Высшая школа, 1978. - 447 с.
11. Бродская А.Г. Сжимаемость мерзлых грунтов. - М.: Изд-во АН СССР, 1962. -112 с.
12. Фролов А.Д. Электрические и упругие свойства мерзлых пород. - Пушино, 1998. - 515 с.
13. Kaplar C.W. Laboratory determination of dynamic module of frozen soils and of ice. - USA CRREL Res. Rep. 163, 1969. - 45 p.
14. Dokuchaev V.V., Artemov Z.P., Sheinkman D.R. Ice-rich as bases for structures // Proc. of III Inter. Conf. on Permafrost. Canada. - 1978, Vol. 1. - Pp. 636-641.
15. Роман Л.Т. Механика мерзлых грунтов. - М.: МАИК "Наука Интерпериодика", 2002. - 426 с.
16. Zhang J., Hou Z., Chao F. Freezing strength of soils to foundation materials // Professional papers on permafrost studies of Qianghai - Xizang plateau. Lanzhou Academia Sinica. Chine. - 1983. - Pp. 98-105.
17. Роман Л.Т. Мерзлые торфяные грунты как основания сооружений. - М.: Наука, 1987. - 220 с.
18. Роман Л.Т., Цырендоржиева М.Д. Прогноз деформации мерзлых грунтов методом температурно-временной аналогии при штамповых испытаниях // Вестник МГУ. сер. 4. - 1994. - № 1. - С. 19-23.
19. Роман Л.Т., Кулешов Ю.В. Прогноз длительных деформаций мерзлых засоленных грунтов методами временных аналогий // Засоленные мерзлые грунты как основания сооружений. - М.: Наука, 1990. - С. 73 - 83.

Учредитель: Издательский Дом «Экономика, Строительство, Транспорт»

Регистрационный номер ПИ № ФС77-39596

Адрес редакции: 109428, Москва, Рязанский просп., д. 59, тел. 8(903)208-5033

Оригинал-макет подготовлен в редакции.

Подписано в печать 00.10.16 Формат 60x88x1/8. Бумага офсетная. Уч.-изд.л. 4,9. Усл.печ.л. 4, Заказ № Тираж 000 экз

Отпечатано в ООО "Подольская Периодика", 142100, Московская обл., г.Подольск, ул.Кирова, д.15
Цена свободная