

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2020, №3, Том 12 / 2020, No 3, Vol 12 <https://esj.today/issue-3-2020.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/31SAVN320.pdf>

Ссылка для цитирования этой статьи:

Жайсамбаев Е.А., Скворцов Д.С., Краев А.Н., Парёнкина О.А. Результаты экспериментального исследования сезоннопромерзающего пучинистого основания // Вестник Евразийской науки, 2020 №3, <https://esj.today/PDF/31SAVN320.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

For citation:

Zhaisambaev E.A., Skvortsov D.S., Kraev A.N., Parenkina O.A. (2020). The results of experimental studies of seasonally freezing heaving base. *The Eurasian Scientific Journal*, [online] 3(12). Available at: <https://esj.today/PDF/31SAVN320.pdf> (in Russian)

УДК 624.1

ГРНТИ 67.11.29

Жайсамбаев Еркн Аскерович

ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», Тюмень, Россия
Ассистент-стажер
Магистрант
E-mail: zhaysambaeverkn@mail.ru

РИНЦ: http://elibrary.ru/author_profile.asp?id=1028545

SCOPUS: <http://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=57202306280>

Скворцов Дмитрий Сергеевич¹

ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», Тюмень, Россия
Ассистент-стажер

Аспирант, направление подготовки 08.06.01 «Техника и технологии строительства»,
направленность «Основания и фундаменты, подземные сооружения»

E-mail: tmn.skvorcov@mail.ru

РИНЦ: http://elibrary.ru/author_profile.asp?id=824443

SCOPUS: <http://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=57196094749>

Краев Андрей Николаевич

ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», Тюмень, Россия
Доцент

Кандидат технических наук

E-mail: kraev-an@mail.ru

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5679-2084>

РИНЦ: http://elibrary.ru/author_profile.asp?id=761631

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57195595139>

Парёнкина Олеся Алексеевна

ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», Тюмень, Россия
Бакалавр

E-mail: parenkinao@gmail.com

Результаты экспериментального исследования сезоннопромерзающего пучинистого основания

Аннотация. Строительство фундаментов мелкого заложения на сезоннопромерзающих грунтах сопровождается определенными сложностями в связи с неравномерными

¹ <https://vk.com/dimon72ru>

деформациями грунтового основания, вызванными морозным пучением, а заглубление фундаментов ниже глубины промерзания грунтов приводит к значительному увеличению стоимости фундамента. В данных условиях, использование сезоннопромерзающего слоя грунта для оснований зданий и сооружений является актуальной задачей.

Однако в научной литературе недостаточно рассмотрен вопрос строительства фундаментов зданий и сооружений в слое сезонного-промерзания оттаивания, а нормативная литература регламентирует располагать заложение фундаментов ниже глубины промерзания.

В данном исследовании приведены публикации ученых по существующей проблематике, представлена разработанная в центральной научно-исследовательской лаборатории «Строительство на вечной мерзлоте» ФГБОУ ВО «ТИУ» экспериментальная установка, позволяющая проводить исследования сезоннопромерзающих грунтов в лабораторных условиях по открытой системе (с наличием подземных вод), описана схема экспериментальной установки и перечень используемого лабораторного оборудования, описана методика проведения эксперимента. Авторами приведены результаты определения степени пучинистости грунта в приборе УПГ-МГ4. Грунт, определена текстура используемого глинистого грунта. Представлены результаты экспериментального исследования по определению деформаций морозного пучения сезоннопромерзающего глинистого основания при заморозке и оттайке грунтового основания.

Результаты проведенного исследования расширяют знания о процессе морозного пучения грунтов и его моделировании в лабораторных условиях.

Ключевые слова: сезоннопромерзающие грунты; деформации морозного пучения; пучинистый грунт; морозное пучение; деформации пучения грунтов; деформации протаивания грунтов; экспериментальные исследования; мелкозаглубленный фундамент

Сезонное промерзание грунтов встречается на большей части территории Российской Федерации. Величина сезонного промерзания грунтов колеблется в пределах от 0,5 до 3 метров и более. Морозное пучение грунтов зависит от многих факторов таких как: вид грунта, его физические и механические свойства, температура окружающего воздуха, скорость промерзания и миграции влаги в грунте к фронту промерзания, уровень расположения подземных вод от дневной поверхности и других. Зависимость морозного пучения от данных факторов подтверждена и описана многочисленными исследованиями ученых-геотехников.

Б.С. Юшков и А.С. Сергеев опубликовали результаты исследований зависимости величины морозного пучения глинистых грунтов от скорости промерзания [1]. По результатам экспериментов, авторы установили, что при увеличении скорости промерзания неравномерность морозного пучения глинистых грунтов и величина их пучения уменьшается. Увеличение скорости промерзания грунта, уменьшает скорость миграции влаги, что приводит к уменьшению времени ее фазовых переходов и количеству мигрирующей к фронту промерзания воды, что как следствие уменьшает величину пучения грунтов.

М.В. Парамонов проводил исследования по определению коэффициента анизотропии морозного пучения в лабораторных условиях [2]. Коэффициент анизотропии пучения представляет собой отношение горизонтальных деформаций пучения к вертикальным. Испытания проводились на искусственно приготовленных грунтовых пастах: супесях, суглинках и глинах, с определенным содержанием глинистых частиц. Содержание глинистых частиц составило 41 %, 25 %, 8 % для глин, суглинков и супесей соответственно. Образцы промораживались при наличии и отсутствии боковой теплоизоляции. В качестве теплоизоляции использовалась минеральная вата с пластиковой оболочкой. Опыты проводились по закрытой системе (без подтока воды). По результатам испытаний было установлено, что величина объемной деформации имеет линейную зависимость от увеличения содержания глинистых частиц. Также, объемная деформация увеличивается при увеличении влажности образцов грунта. Коэффициент анизотропии пучения находится практически в линейной зависимости от содержания глинистых частиц.

А.В. Мельников и И.И. Сахаров так же занимались исследованиями по определению коэффициента анизотропии грунта [3], но в отличие от М.В. Парамонова, провели серию экспериментов по определению и сравнению напряженно-деформированного состояния грунта в условиях закрытой и открытой систем (с подтоком воды). Исследования проводились на крупномасштабных образцах пылеватого суглинка при температуре -11 и -15 °С, в условиях одного и двух фронтов промерзания. В результате лабораторных исследований авторами были установлены:

1. вертикальные деформации пучения при одностороннем промерзании превышали значения при двухстороннем промерзании;
2. при увеличении скорости промерзания деформации пучения в обоих направлениях снижались;
3. при одностороннем промерзании во всех случаях горизонтальное пучение было значительно меньше вертикального, составляя от его величины лишь от 4 до 14 %, и зачастую начиналось позднее;
4. в условиях двухстороннего промерзания деформации в обоих направлениях становились сопоставимы по значению – горизонтальная деформация превышала вертикальную не более чем на 19 % при закрытой системе и на 30 % при открытой;
5. в условиях закрытой системы внутренний миграционный поток при двух фронтах промерзания разделялся на две части, что приводило к значительному уменьшению вертикального пучения и возрастанию горизонтального по сравнению с односторонним промерзанием;
6. в условиях открытой системы горизонтальное воздействие пучения так же возрастало, но вертикальное снижалось не столь существенно, как при закрытой системе, что, вероятно, объясняется возрастанием внешнего суммарного миграционного потока;
7. в условиях закрытой системы, при отсутствии подсоса дополнительной влаги извне, при возможности бокового расширения и без него, в грунте замерзает одно и то же количество воды;
8. значения коэффициента анизотропии пылеватого суглинка, определенные экспериментально, составили $\psi_a = 0,00 \div 0,05$ и $\psi_a = 0,10 \div 0,15$ соответственно, для условий закрытой и открытой систем.

Результаты испытаний представлены в виде графиков на рисунке 1, 2.

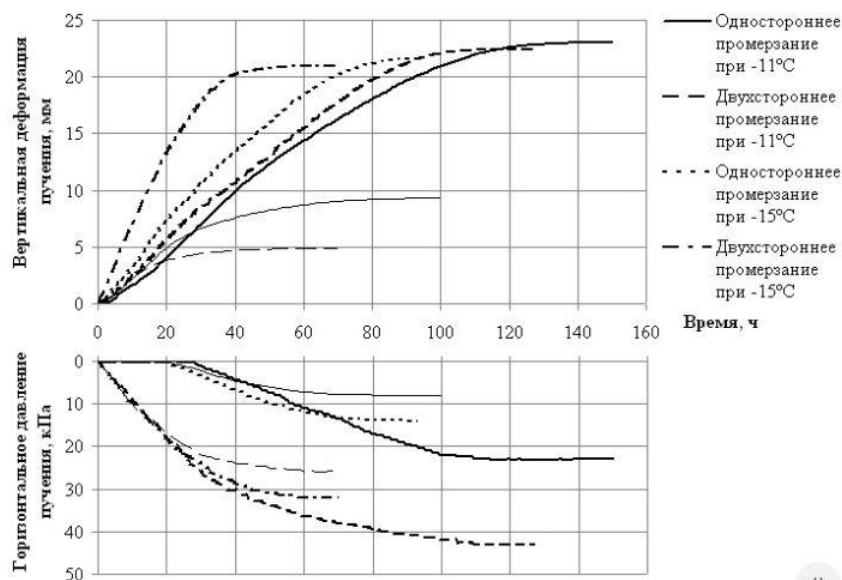


Рисунок 1. Графики развития вертикальных деформаций и горизонтального давления морозного пучения суглинка без возможности бокового расширения. На графиках толстой линией показаны зависимости в условиях открытой системы, тонкой – закрытой (рисунок заимствован из [3])

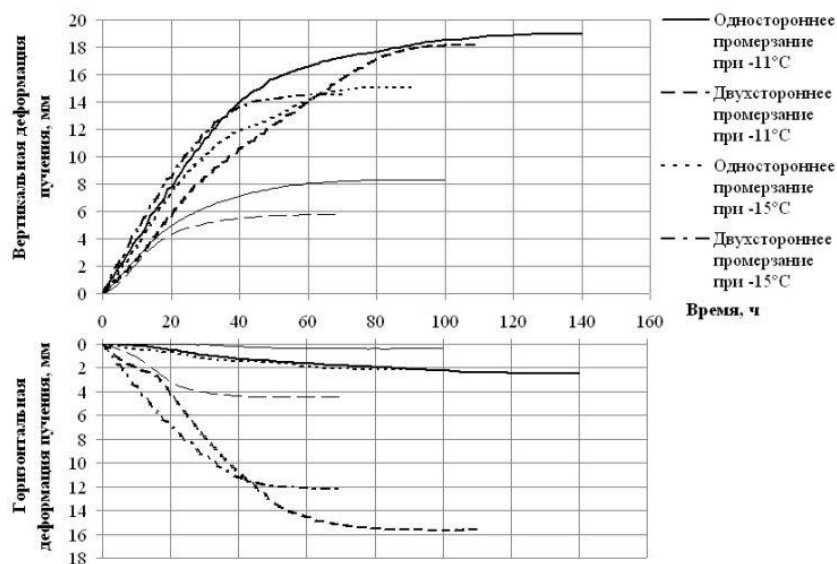


Рисунок 2. Графики развития вертикальных деформаций и горизонтального давления морозного пучения суглинка при возможности бокового расширения. На графиках толстой линией показаны зависимости в условиях открытой системы, тонкой – закрытой (рисунок заимствован из [3])

Так же авторы произвели адаптацию аналитической методики В.Д. Карлова [4], которая изначально предназначалась для условий одностороннего промерзания и пучения, путем определения экспериментальных зависимостей в ходе лабораторных испытаний. Данная методика позволяет аналитически описать НДС промерзающего пучинистого грунта в неоднородной постановке, при любых условиях промерзания и пучения.

Б.С. Юшков и О.В. Третьякова занимались определением анизотропии глинистых грунтовых массивов в форме пространственной неоднородности свойств талых и мерзлых грунтов [5]. Авторы определили зависимость неоднородности физических и механических свойств мерзлых грунтов от криогенной текстуры, природного сложения, различных видов

напластований, переслаивания пород. По результатам экспериментов было установлено, что при промерзании грунта происходит его неравномерная усадка в горизонтальном и вертикальном направлениях.

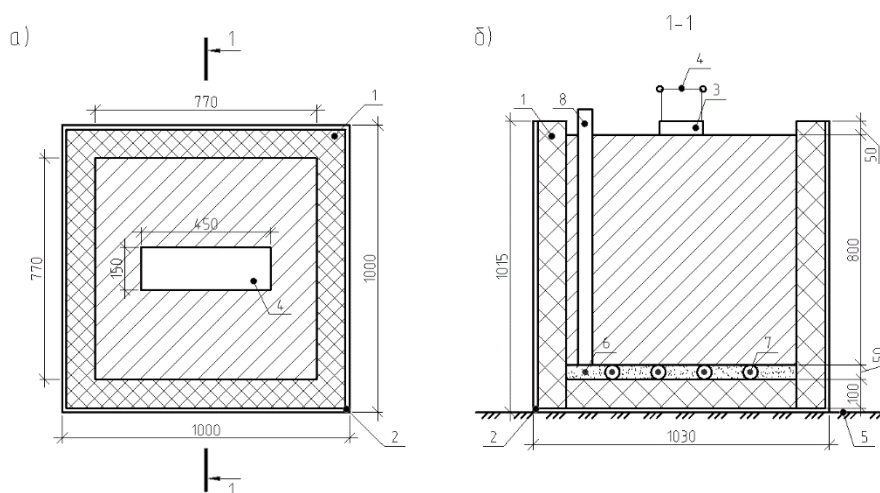
На величину морозного пучения грунтов также большое влияние оказывает величина внешней нагрузки. Изучением данного вопроса занимались Карлов [4], Чеверев [6; 7], Орлов [8], Пузаков [9], Гольдштейн [10] и др.

Н.А. Пузаков, на основе проведенных лабораторных исследований, отмечал, что даже при небольших величинах внешней нагрузки на основание происходит значительное уменьшение морозного пучения грунтов, в результате уменьшения притока капиллярной влаги к фронту промерзания. Автор считал, что процесс морозного пучения прекращается при глубине промерзания 0,9–1,2 м, с давлением на зону промерзания 15–20 кПа.

Орлов, на основе проведения натурных исследований, пришел к выводу, что морозное пучение грунтов возможно даже при внешнем давлении выше 0,1–0,3 МПа, объясняя это изменением фазового состава в сторону повышения содержания незамерзшей воды и увеличением компрессии талой зоны промерзающего грунта.

Строительство зданий и сооружений в данных инженерно-геологических условиях требует качественной оценки возникновения явления морозного пучения, разработку конструктивно-технологических мероприятий по борьбе с явлением морозного пучения, разработку методики расчета величины деформаций от сил морозного пучения. Проведенный анализ работ вышеперечисленных авторов указывает на актуальность дальнейших исследований явления морозного пучения грунтов.

Так как проведение натурных экспериментов в реальных условиях строительной площадки является трудоемким и дорогостоящим мероприятием проведение численного моделирования процессов морозного пучения является актуальной задачей. Моделирование процесса промерзания грунтового основания с учетом капиллярного подсоса влаги в открытой системе и анализ получаемых деформаций морозного пучения является достаточно трудоемкой задачей. Для изучения этого процесса в центральной научно-исследовательской лаборатории «Строительство на вечной мерзлоте» ФГБОУ ВО «ТИУ» коллективом авторов был разработан экспериментальный стенд, позволяющий исследовать процессы промерзания грунтового основания в лабораторных условиях (рисунок 3).



На схеме: 1 – утеплитель; 2 – каркас бака; 3 – штамп; 4 – индикаторы часового типа; 5 – пол морозильной камеры; 6 – датчик температуры воды; 7 – греющий кабель; 8 – магистральная система уровня подземных вод

Рисунок 3. Схема экспериментального стенда:
а – в плане; б – в разрезе (схема выполнена авторами)

Экспериментальный стенд представляет собой грунтовый лоток с жесткими стенками и дном с габаритными размерами в плане 1000x1000 мм и высотой 1000 мм. Открытая система моделировалась посредством размещения перфорированных труб на дне лотка с установленным внутри труб греющим кабелем, поддерживающим положительную температуру воды. Для исключения оттока грунтовой влаги на дно и боковые стенки лотка укладывался слой полиэтиленовой пленки. Общий вид экспериментального стенда до выполнения эксперимента в лабораторных условиях представлен на рисунке 4.



Рисунок 4. Общий вид экспериментального стенда до выполнения эксперимента в лабораторных условиях (фото выполнено авторами)

На грунтовое основание устанавливался штамп, имитирующий фундамент размерами 150x450x50 мм (рисунок 5).



Рисунок 5. Общий вид экспериментального стенда во время проведения эксперимента в лабораторных условиях (фото выполнено авторами)

Экспериментальная установка помещалась в морозильную камеру, с поддерживаемой температурой -4°C . В процессе эксперимента фиксировались деформации морозного пучения каждые 12 часов, а также температура грунта. Температура испытания выбрана с учетом методики определения степени пучинистости грунта по ГОСТ 28622-2012, Метод лабораторного определения степени пучинистости.

Для фиксации перемещений использовались индикаторы часового типа ИЧ-50 с точностью измерения 0,01 мм. Для фиксации температуры грунта в экспериментальном стенде и температуры воздуха в морозильной камере используется измерительный комплекс ТЕРЕМ 4-1 с датчиками температуры грунта ДТС 1-1.

В качестве грунтового основания использовался водонасыщенный суглинок нарушенной структуры, степень морозного пучения которого определялась в приборе УПГ-МГ4. Грунт (рисунок 6).



Рисунок 6. Проведение испытания по определению степени пучинистости грунта в приборе «УПГ-МГ4. Грунт» (фото выполнено авторами)

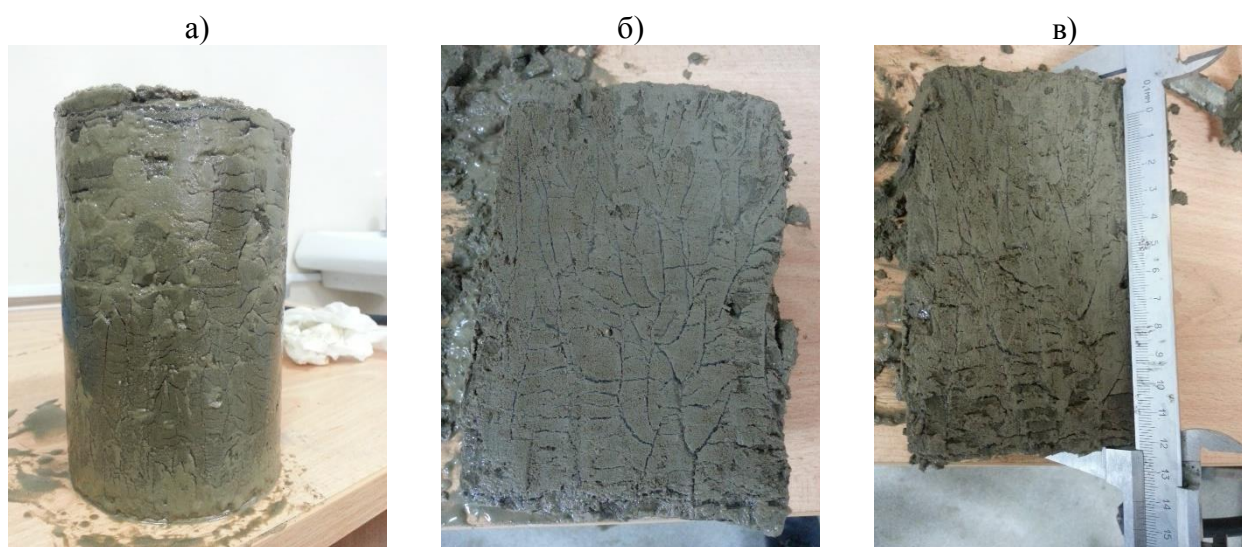


Рисунок 7. Окончание определения степени пучинистости грунта в приборе «УПГ-МГ4. Грунт»: а) образец грунта, извлеченный из обоймы; б) текстура промороженного грунта; в) фактическая толщина промерзшего слоя грунта (фото выполнено авторами)

В зависимости от интенсивности промораживания (величины температурного градиента) и граничных условий – строго одностороннего (одномерная задача) промораживания или промораживания грунта с нескольких сторон, наличия подтока воды и

задержек в продвижении границы промораживания или без них, в процессе промерзания грунтов формируется криогенная (морозная) текстура мерзлых грунтов, существенно определяющая их свойства. Различают три основных вида текстуры мерзлых грунтов: слитную (массивную), слоистую и ячеистую (сетчатую).

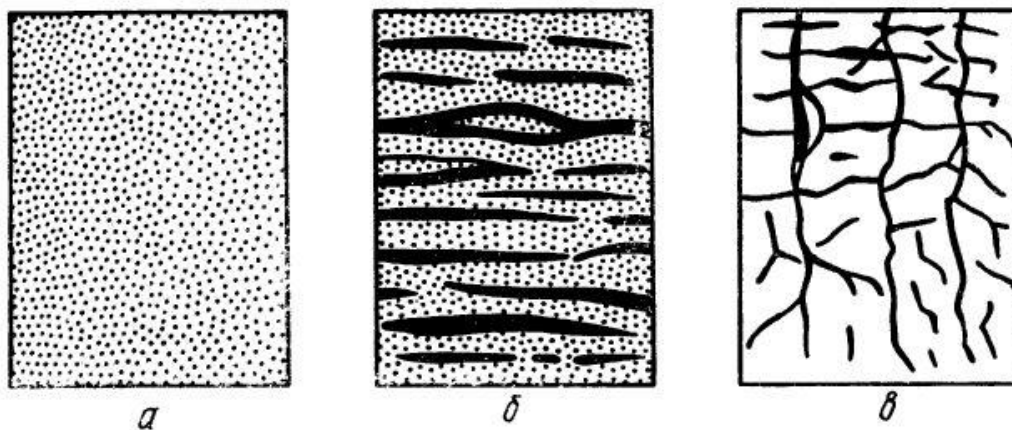


Рисунок 8. Основные виды криогенных текстур мерзлых грунтов:
а – слитная; б – слоистая; в – ячеистая (рисунок заимствован из [11])

По результатам испытаний лабораторный образец грунта имеет ячеистую структуру, грунты с данной структурой имеют наибольшие показатели морозного пучения.

Согласно ГОСТ 28622-2012 степень пучинистости грунта определяется в зависимости от относительной деформации морозного пучения грунта ε_{fh} : отношение абсолютной вертикальной деформации морозного пучения промерзающего грунта к мощности промерзшего слоя, за исключением пластично мерзлого состояния грунта, таблица 1.

Таблица 1

Степень пучинистости грунта от ε_{fh}

Степень пучинистости грунта	Относительная деформация морозного пучения образца грунта, ε_{fh}
Непучинистый	$\varepsilon_{fh} < 0,01$
Слабопучинистый	$0,01 \leq \varepsilon_{fh} < 0,035$
Среднепучинистый	$0,035 \leq \varepsilon_{fh} < 0,07$
Сильнопучинистый	$0,07 \leq \varepsilon_{fh} < 0,10$
Чрезмернопучинистый	$0,10 \leq \varepsilon_{fh}$

По результатам испытания, мощность твердомерзлой фазы образца составила 140 мм, при величине деформации морозного пучения грунта $h_f = 6,3$ мм.

$$\varepsilon_{fh} = \frac{h_f}{d_f} = \frac{6,3}{140} = 0,045 \quad (1)$$

где: h_f – вертикальная деформация образца грунта в конце испытания, мм;

d_f – фактическая толщина промерзшего слоя образца грунта, мм.

Согласно таблице 1, при относительной деформации морозного пучения образца грунта $\varepsilon_{fh} = 0,045$, степень пучинистости суглинка, использованного для проведения лоткового эксперимента, соответствует среднепучинистому грунту.

Для изучения характера деформаций морозного пучения в лабораторных условиях было выполнено плоскопараллельное промораживание грунтового основания.

Результаты вертикальных перемещений штампа в процессе промерзания грунтового основания представлены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты экспериментов

Максимальные деформации пучения, мм	29,05
Просадка грунта после оттаивания, мм	40,28

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Морозное пучение грунтов является сложным процессом, зависящим от многих факторов: вида грунта, его физических и механических характеристик, температуры окружающего воздуха, скорости промерзания и миграции влаги в грунте к фронту промерзания, уровня расположения подземных вод от дневной поверхности, величины внешней нагрузки, действующей на грунт и других. Наличие большого количества данных параметров требует всестороннего изучения процесса морозного пучения грунтов.
2. Разработанный авторами экспериментальный стенд позволяет исследовать сезоннопромерзающие пучинистые основания в лабораторных условиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Юшков, Б.С. Исследование зависимости величины морозного пучения глинистых грунтов от скорости промерзания / Б.С. Юшков, А.С. Сергеев // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – Пермь 2015. – №4. – С. 130–140.
2. Парамонов, М.В. Исследование линейных и объемных деформаций морозного пучения в лабораторных условиях / М.В. Парамонов // Вестник гражданских инженеров. – СПб 2012. – №6(35). – С. 84–86.
3. Мельников, А.В. Определение параметров напряженно-деформированного состояния промерзающего пучинистого грунта в неоднородной постановке / А.В. Мельников, И.И. Сахаров // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – №1. – С. 190–197.
4. Карлов, В.Д. Основания и фундаменты на сезоннопромерзающих пучинистых грунтах / В.Д. Карлов. – СПб.: СПбГАСУ, 2007. – 362 с.
5. Юшков, Б.С. Влияние анизотропии глинистых грунтовых массивов на напряженно-деформированное состояние транспортных тоннелей / Б.С. Юшков, О.Л. Третьякова // Транспортные сооружения, 2014, №3(3). – С. 1–10.
6. Чеверев, В.Г. Природа криогенных свойств грунтов / В.Г. Чеверев. М., Науч. мир, 2004, 234 с.
7. Чеверев, В.Г. Свойства связной воды в криогенных грунтах (аналитический обзор) // Криосфера земли, 2003, т. VII, №2, С. 30–41.
8. Орлов В.О. Пучение промерзающих грунтов и его влияние на фундаменты сооружений / В.О. Орлов, Ю.Д. Дубнов, Н.Д. Меренков. Л., Стройиздат, 1977, 183 с.
9. Пузаков, Н.А. Водно-тепловой режим земляного полотна автомобильных дорог / Н.А. Пузаков. М.: Автотрансиздат, 1960, 168 с.
10. Гольдштейн М.И. Деформации земляного полотна и оснований сооружений при промерзании и оттаивании // Тр. Всесоюз. науч.-исслед. ин-та железнодорожного транспорта, 1948, вып. 16, 212 с.
11. Цытович Н.А. Механика мерзлых грунтов. Учебное пособие. М.: Высш. шк., 1973. – 448 с.

Zhaisambaev Erkn Askerovich

Industrial university of Tyumen, Tyumen, Russia
E-mail: zhaysambaeverkn@mail.ru

Skvortsov Dmitriy Sergeevich

Industrial university of Tyumen, Tyumen, Russia
E-mail: tmn.skvorcov@mail.ru

Kraev Andrey Nikolaevich

Industrial university of Tyumen, Tyumen, Russia
E-mail: kraev-an@mail.ru

Parentkina Olesya Alekseevna

Industrial university of Tyumen, Tyumen, Russia
E-mail: parentkinao@gmail.com

The results of experimental studies of seasonally freezing heaving base

Abstract. The construction of shallow foundations on seasonally freezing soils is accompanied by certain difficulties due to uneven deformations of the soil base caused by frost heaving, and the deepening of foundations below the freezing depth of soils leads to a significant increase in the cost of the foundation. In these conditions, the use of a seasonally freezing layer of soil for the foundations of buildings and structures is an urgent task.

However, the scientific literature does not sufficiently address the issue of building the foundations of buildings and structures in the layer of seasonal-freezing thawing, and regulatory literature regulates placing the foundations below the freezing depth.

In this study, publications of scientists on the existing problems are presented, an experimental setup developed at the Central Research Laboratory "Permafrost Construction" of the Federal State Budget Educational Institution of Higher Education "TIU" is presented, which makes it possible to conduct seasonal freezing studies in laboratory conditions using an open system (with groundwater), describes the experimental setup and a list of used laboratory equipment, describes the experimental technique. The authors present the results of determining the degree of heaving of the soil in the device UPG-MG4.Grunt, determined the texture of the clay soil used. The results of an experimental study to determine the deformations of frost heaving of a seasonally freezing clay base during freezing and thawing of a soil base are presented.

The results of the study expand knowledge about the process of frost heaving of soils and its modeling in laboratory conditions.

Keywords: seasonally freezing soils; frost heaving deformations; heaving soil; frost heaving; soil heaving deformations; thawing deformations of soils; experimental studies; shallow foundation