



**ВЕСТНИК ПНИПУ.  
СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА**  
Т. 7, № 1, 2016  
**PNRPU BULLETIN  
CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE**  
<http://vestnik.pstu.ru/arhit/about/inf/>



DOI: 10.15593/2224-9826/2016.1.05

УДК 624.138

## **К ВОПРОСУ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ ЗАЩИТЫ ОТ МОРОЗНОГО ПУЧЕНИЯ**

**И.А. Чернышева, А.В. Машченко**

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия

### **О СТАТЬЕ**

Получена: 25 декабря 2015  
Принята: 13 января 2016  
Опубликована: 31 марта 2016

#### *Ключевые слова:*

пучение грунта, методы защиты, армирование, геосинтетические материалы, мелиорация грунтов, стабилизация фундаментов

### **АННОТАЦИЯ**

Обширная территория Российской Федерации находится в условиях вечной мерзлоты и сезонного промерзания грунтов. Пермский край не является исключением. Большая часть территории сложена водонасыщенными грунтами, которые плохи тем, что из-за избытка воды в грунте при замерзании возможно морозное пучение грунтов, а при оттаивании – резкое увеличение содержания воды, и грунты становятся нестабильными. Морозное пучение грунта – это увеличение грунта в объеме, неравномерное его поднятие над поверхностью земли из-за кристаллизации воды под действием низких температур. Грунты, подверженные морозному пучению, называются пучинистыми или морозоопасными. Также морозное пучение грунта может привести к аварийным ситуациям. Игнорирование этого явления ведет к полному разрушению объектов, находящихся в этих зонах. Расположенные в пучинистых грунтах фундаменты подвергаются выпучиванию, т.е. перемещаются вверх, если действующие на них нагрузки не уравновешивают силы пучения. В результате таких деформаций грунта в фундаменте возникают нагрузки, приводящие, например, к возникновению трещин в стенах здания и самом фундаменте. Одной из основных целей обеспечения устойчивости, долговечности и эксплуатационной пригодности зданий и сооружений, возводимых в районах с грунтами, подверженными морозному пучению, является необходимый и своевременный учет воздействий пучинистых грунтов на их фундаменты и конструкции. В статье рассмотрены противопучинистые методы борьбы, такие как мелиорация грунтов (гидромелиоративные и тепломелиоративные мероприятия, гидрофобизация, замена пучинистого грунта непучинистым и пр.) и стабилизация фундаментов (обработка боковых поверхностей фундаментов, заанкеривание свай, замена фундаментов мелкого заложения свайными и столбчатыми, уширения фундамента ниже глубины промерзания основания).

© ПНИПУ

© Чернышева Ирина Алексеевна – магистрант, e-mail: [chernysheva3009@yandex.ru](mailto:chernysheva3009@yandex.ru).  
Машченко Александра Витальевна – аспирант, e-mail: [Lybra013@yandext.ru](mailto:Lybra013@yandext.ru).

**Irina A. Chernysheva** – Master Student, e-mail: [chernysheva3009@yandex.ru](mailto:chernysheva3009@yandex.ru).  
**Aleksandra V. Mashchenko** – Postgraduate Student, e-mail: [Lybra013@yandext.ru](mailto:Lybra013@yandext.ru).

## ON THE ISSUE OF USING VARIOUS METHODS OF PROTECTION AGAINST FROST HEAVE

I.A. Chernysheva, A.V. Mashchenko

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

### ARTICLE INFO

Received: 25 December 2015  
Accepted: 13 January 2016  
Published: 31 March 2016

#### Keywords:

heaving soils, methods of struggle, reinforced, geosynthetic materials, amelioration of soils, stabilization of foundations

### ABSTRACT

The vast territory of the Russian Federation is the permafrost and seasonal frost soils. Perm region not an exception. Most of the territory is composed of saturated soils that are bad because excess of water in the soil during freezing might produce frost heave of soil and during thawing soil becomes unstable. Frost heaving of soil is the increasing of soil volume and its uneven uplift above the earth's surface due to low temperatures. Soils, which are prone to frost heaving, are called heaving and frost susceptible. Also, frost heave of soil can lead to a crash. Ignoring this phenomenon leads to the complete destruction of the objects located in these areas. Foundations, which are located in heaving soils, are prone to moving up if the load acting on them do not balance heave force. Because of such deformations of soil the foundation receives a load that lead to cracks in the walls of the building and the foundation itself. One of the main goals of the building sustainability, construction durability and serviceability of the buildings in the area with frost heaving of soils is opportune accounting of the heaving soils impact on foundation of buildings and constructions. The article describes the methods of struggle, such as amelioration of soils (hydro reclamation and thermal reclamation activities, rendering hydrophobic, replacing heaving soils and other) and stabilization of foundations (treatment of side surfaces of foundations, anchoring piles, replacement of shallow foundations on piles foundation, broadening of the foundation piles at a depth below the freezing depth).

© PNRPU

Территория Пермского края в основном сложена сильносжимаемыми, часто водонасыщенными глинистыми грунтами с низкими значениями модуля деформации [1]. Климат Пермского края относится к умеренно континентальному, зимний период довольно долгий и продолжается 183 дня. Вследствие этого грунты подвержены сезонному промерзанию и последующему оттаиванию. Глубина сезонного промерзания на отдельных участках г. Перми может достигать 2,5 м. Климатические параметры холодного периода года согласно СП 131.13330.2012 представлены ниже.

Температура наиболее холодных суток, °С	Температура наиболее холодной пятидневки, °С	Абсолютная минимальная температура воздуха, °С	Продолжительность суток со средней суточной температурой воздуха ниже 0 °С
-44	-36	-47	183

С помощью математического моделирования Л.Н. Хрусталева [2, 3] воспроизвел прогнозируемое потепление климата на территории России с расчетным трендом 0,075 град/год. Из этого можно сделать вывод, что вечномерзлые пучинистые грунты испытывают регресс, который может привести к снижению устойчивости и долговечности уже существующих и только проектируемых зданий и сооружений, которые планируются без учета глобального потепления климата.

Повышение температуры окружающей среды ведет к переходу вечномерзлых пород из твердомерзлого в пластичномерзлое и немерзлое состояние (рис. 1) [4].

В крупнозернистых грунтах (крупнообломочные породы с песчаным заполнителем, пески) механизм морозного пучения грунта представлен за счет увеличения объема воды [5], в связных грунтах (глинистых) – за счет комплекса процессов теплообмена. Влага в основном поступает в глинистые и песчаные грунты из соседних, смежных немерзлых зон [6].

Морозное пучение может привести к серьезным повреждениям промышленных и гражданских зданий, гидротехнических и мелиоративных сооружений, к разрушению автомобильных и железных дорог, смещению опор мостов и линий электропередач и т.д. В частности, на железных и автомобильных дорогах из-за морозного пучения образуются бугры, смещаются откосы, кюветы и т.д. (рис. 2). Такие деформации в основном происходят в районах с глубоким промерзанием грунтов и вечномерзлыми породами. Игнорирование явления морозного пучения влечет за собой поднятие и опускание зданий и сооружений вместе с фундаментами при оттаивании и замерзании почвы в разные времена года [7].

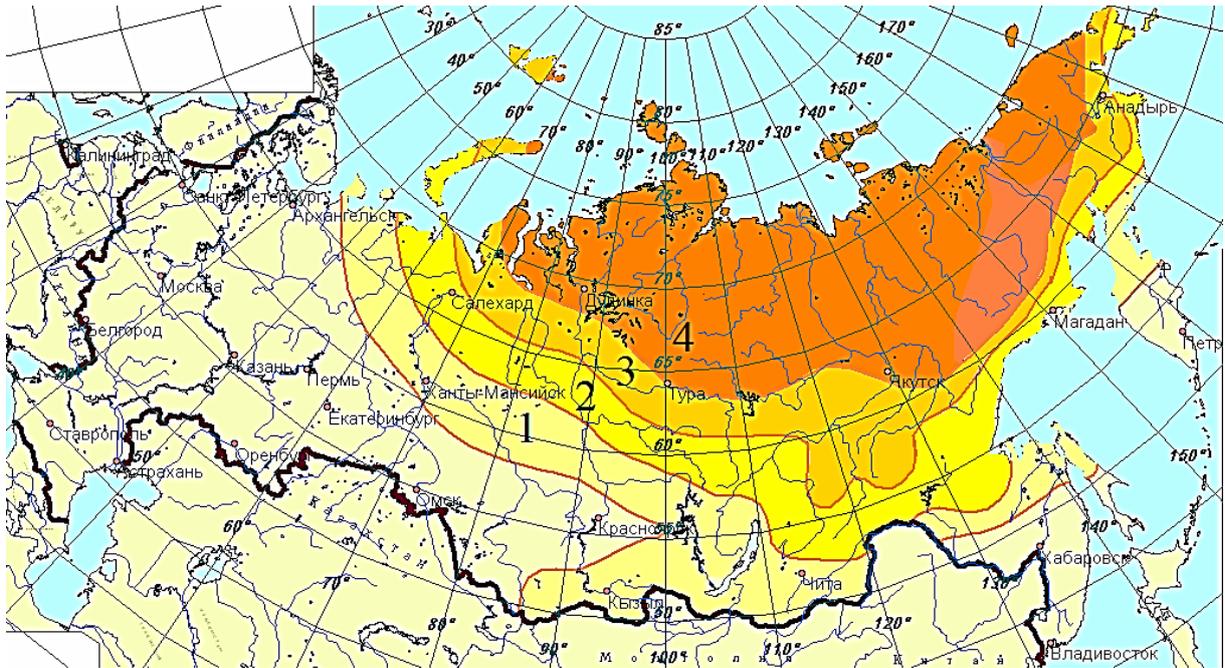


Рис. 1. Карта деградации мерзлоты на территории РФ за период 1950–2050 гг.:

1 – зона исчезновения очагов мерзлоты; 2 – разрушение мерзлоты;

3 – незначительная деградация мерзлоты; 4 – отсутствие деградации

Fig. 1. Map of permafrost degradation on the territory of the Russian Federation for the period 1950–2050: 1 – the zone centers of the disappearance of permafrost; 2 – the destruction of permafrost; 3 – slight degradation of permafrost; 4 – no degradation



а

б

Рис. 2. Повреждение автомобильных дорог: а – бугры; б – смещение кюветов

Fig. 2. Damage to the roads: a – high spots; b – displacement of a road ditches

Морозное пучение грунта имеет касательные и нормальные силы пучения (рис. 3). Касательные воздействуют на боковую поверхность фундаментов, а нормальные – на подошву фундамента и подстилающие слои железных и автомобильных дорог. Эти силы также являются самыми важными при учете строительства или реконструкции фундаментов зданий и сооружений. Чем глубже залегает фундамент, тем меньше нормальные силы пучения, поскольку сокращается значение сил пучения, но увеличивается касательная составляющая, так как площадь боковой поверхности увеличивается, а с ней и силы, действующие на эти стенки.

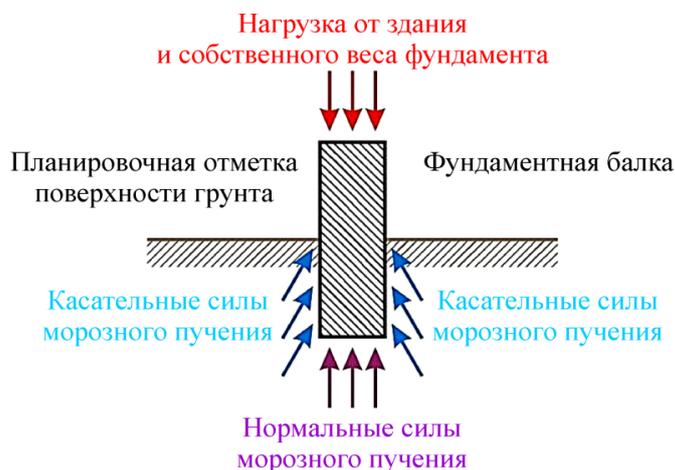


Рис. 3. Касательные и нормальные силы морозного пучения

Fig. 3. Tangent and normal forces of frost heaving

Согласно классификации М.Ф. Киселева [8] степень пучинистости грунта зависит от положения уровня грунтовых вод и показателя текучести глинистых грунтов.

Существует множество методов борьбы с морозным пучением. Их условно можно разделить на две группы [9–12]. Первая – это противопучинистая мелиорация грунтов: гидромелиоративные и тепломелиоративные мероприятия, гидрофобизация, замена пучинистого грунта непучинистым и пр. Вторая – это противопучинистая стабилизация фундаментов: обработка боковых поверхностей фундаментов, заанкеривание свай, замена фундаментов мелкого заложения свайными и столбчатыми, уширения фундамента ниже глубины промерзания основания. Также существуют комплексные мероприятия по защите от морозного пучения.

При первом подходе проводят геотехнический мониторинг грунтов на период строительства и на срок эксплуатации зданий и сооружений.

К противопучинистым мелиоративным мероприятиям относятся:

1. Тепловая мелиорация – одно из эффективных противопучинистых мероприятий. Принцип действия: создание в грунте температурного градиента горизонтального направления, при помощи термокатализаторов – слоя теплоизоляции, что позволяет исключить промерзание грунта, уменьшить силы касательного пучения грунтов вследствие повышения температуры мерзлого грунта, отвести воду от фундамента, тем самым сократить интенсивность пучения грунта. Иногда можно применять калориферные установки, дымовые газы и электрообогрев для предотвращения промерзания грунтов.

2. Еще одним способом защиты являются гидромелиоративные мероприятия. Условия их проведения зависят от многих факторов, например, таких как: источник увлажнения, рельеф местности, геология, фильтрационные способности грунта. Цель этих мероприятий состоит в том, чтобы понизить уровень грунтовых вод и предотвратить перенасыщение грунтов поверхностными водами. Гидромелиоративные мероприятия заключаются в уст-

ройстве дренажей, водосборных канав, лотков, траншей, дренажных песчаных прослоек, иглофильтрации, вакуумных дренажей и т.д. [13]. Необходимо дополнительно отапливать дренажные системы в слое промерзающего грунта, чтобы вода в них не застывала и не оставалась. Для того чтобы избежать перенасыщения атмосферными осадками и сточными водами, следует провести вертикальную планировку участка, на котором возводится объект, также необходимо устройство отмосток с глиняным водоизолирующим слоем.

3. Основу физико-химических мероприятий составляют:

- обработка грунта специальными вяжущими, которые позволяют грунту становиться водостойким;
- обработка грунта солевым раствором, который понижает температуру замерзания грунта и уменьшает глубину промерзания этого же грунта.

4. Гидрофобизация грунтов – это передача грунту водоотталкивающих свойств, которые получает грунт за счет обработки его вяжущим при определенных гидротермических условиях. В качестве вяжущего применяются: жидкие нефтяные битумы, жидкие каменноугольные дегти, торфяные и древесные дегти, фурфурол-анилиновые смолы.

Наиболее подходящими для гидрофобизации грунтами являются супеси и пылеватые пески с преобладанием фракций от 0,05 до 0,5 мм, карбонатные грунты (лессы, морены и пр.). Песчаные и супесчаные грунты с  $I_p < 0,03$  следует применять только с предварительным введением в них добавок пылеватых фракций. Гидрофобным грунтом может выступать зола каменного угля.

5. Засоление грунтов, напротив, имеет временный характер (срок действия 1–2 года). Если неправильно была произведена операция засоления грунта, он может стать более морозоопасным, чем был до засоления. Процент содержания солей в почве повышает ее температуропроводность.

Наиболее подходящими для засоления являются грунты с малым коэффициентом фильтрации, в связи с чем песчаные и супесчаные грунты не подходят для данного типа мелиоративных мероприятий.

При строительстве использование первого подхода сохранения грунтов – засоления – не рекомендуется, так как может нарушиться температурный баланс основания [13].

К недостаткам можно также отнести тот факт, что соли разрушают строительные конструкции и материалы, ускоряют коррозию коммуникаций и т.п. Также в результате применения легкорастворимых солей сильно загрязняется почва.

6. Физические противопучинистые мероприятия позволяют стабилизировать грунты, компенсировав их пучение посредством введения в них добавок противопучинистых компенсирующих веществ.

Противопучинистую стабилизацию фундаментов обеспечивают:

1. Строительно-конструктивные мероприятия, которые, в свою очередь, позволяют повысить эффективность работы конструкций зданий и сооружений в пучинистых грунтах.

Уменьшить касательные силы пучения на фундамент можно с помощью:

- рационального проектирования сооружения на столбчатых и свайных фундаментах с уширением на конце;
- устройства кустовых свай;
- уменьшения сечения столбчатых свай;
- устройства наклонных боковых граней (до 1–2°) у железобетонных фундаментов.

Также устраивается отмостка, защищающая от поверхностных вод, или навесные цокольные козырьки и применяется обмазка боковой поверхности фундамента смолой, ма-

зутом, дегтем, нефтью, битумной мастикой, эпоксидной кампаундой, кремнийорганическим соединением и пластичными смазками [14].

В наши дни активно внедряют в грунт геосинтетические материалы. Геосинтетики – это синтетические строительные материалы в виде рулонов, блоков, плит, ячеек и пр., предназначенные для армирования грунта, дренажа, защиты от эрозии, теплоизоляции и т.д., используемые в гражданском, транспортном и гидротехническом строительстве. На практике показана их эффективность. Геосинтетические материалы увеличивают несущую способность и уменьшают деформации грунтов.

Такой способ стабилизации используется на слабых грунтах, например, при устройстве фундаментной подушки или основания в сейсмических районах, карстах, при устройстве дорожной одежды на слабых основаниях, при строительстве подпорных конструкций, таких как стенки, устои мостов, набережные.

Преимущество геосинтетиков состоит в том, что они являются не только прочным (устойчивым к низким температурам и агрессивным средам) и долговечным, но и экономически выгодным (сокращает объемы земляных работ и количество привозного материала), универсальным, взаимозаменяемым и экологичным материалом. К недостаткам можно отнести тот факт, что геосинтетики требуют аккуратного хранения и обращения с ним, так как любое повреждение ухудшает его эксплуатационные свойства [15].

Армирование геосинтетиками применяется для повышения несущей способности слабого основания, грунтовых сооружений, дорожных одежд, а также при возведении насыпей с крутыми откосами, при устройстве армогрунтовых подпорных стен. Оно предназначено для обеспечения надежности конструкции на слабых основаниях, повышения использования современных технологий, замены материалоемких элементов для укрепительных работ, уменьшения затрат природных материалов (песок, щебень) в дренажных сооружениях [15]. Выбор геосинтетика и способ его укладки при армировании производится на основании инженерного расчета с учетом геологических, климатических и других факторов, а также характеристик материала и его качества. Геосинтетик может выполнять сразу несколько функций: армирование, дренирование, разделение конструктивных слоев и т.д., что увеличивает срок службы конструкций зданий или сооружений и предотвращает морозное пучение грунта. Армирование геосинтетиками широко используется в США, Германии и Великобритании, в России же только начинает прочно входить в строительство.



Рис. 4. Приборы для лабораторных испытаний: *a* – УПГ-МГ4 «Грунт»;  
*б* – прибор для определения степени пучинистости грунтов в г. Архангельске

Fig. 4. Devices for laboratory tests: *a* – UPG-MG4 “Soil”;  
*b* – a device for determining the degree of heaving soils in Arkhangelsk

Эффективность армирования геосинтетическими материалами в пучинистых грунтах изучена недостаточно. Поэтому проведение испытаний пучинистых грунтов, армированных геосинтетическими материалами, является актуальной задачей. Производить полевые испытания мерзлых грунтов с геосинтетиками очень затратно и трудоемко, поэтому рациональнее производить лабораторные испытания с помощью специальных приборов (рис. 4).

## Выводы

1. Противопучинистые мероприятия на вечномерзлых грунтах проводятся с учетом особенностей строительной площадки, требований, состояния здания или плана проекта.
2. Выбор типа противопучинистых мероприятий очень важен, так как при неправильном решении можно спровоцировать деградацию грунтов и дальнейшую осадку зданий или сооружений.
3. Наиболее распространенный способ обеспечения стабильности основания – заанкеривание железобетонных свайных фундаментов в вечномерзлых грунтах. Все работы должны вестись в холодное время года.
4. Новый метод защиты – армирование пучинистых грунтов геосинтетиками – является перспективным для изучения.

## Библиографический список

1. Анализ влияния различных типов армирования на деформационные характеристики глинистого грунта / А.Н. Богомолов, А.Б. Пономарев, А.В. Мащенко, А.С. Кузнецова // Интернет-вестник ВолГАСУ. Серия: Политематическая, 2014, вып. 4 (35). – С. 1–9.
2. Хрусталева Л.Н. Рекомендации по применению способа стабилизации вечномерзлых грунтов в основании зданий / Науч.-исслед. ин-т оснований и подземных сооружений им. Н.М. Герсеванова. – М., 1985. – 44 с.
3. Хрусталева Л.Н. Надежность и долговечность инженерных сооружений на вечномерзлых грунтах в условиях глобального потепления климата // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1993. – № 3. – С. 10–13.
4. Матросова Д.С., Фурсов В.В., Балюра М.В. Методы защиты фундаментов от морозного пучения в условиях глубокого сезонного промерзания и вечной мерзлоты // 61-я Университетская научно-техническая конференция студентов и молодых ученых – Томск, 2015. – С. 277–284.
5. Rempel A.W. Formation of ice lenses and frost heave // *Earth Surface, USA*. – 2007. – P. 70–76.
6. Bing Hui, He Ping. Frost heave and bry density changes burring cyclic freeze-thaw of a silty clay // *Permafrost and Periglacial Processe, USA*. – 2009. – P. 65–70.
7. Brig itte Van Vliet-Lanoë. The significance of cryotubation phenomena in environmental reconstruction // *Journal of Quaternary Science, USA*. – 1988. – P. 85–96.
8. Руководство по проектированию оснований и фундаментов на пучинистых грунтах / Науч.-исслед. ин-т оснований и подземных сооружений им. Н.М. Герсеванова. – М.: Стройиздат, 1979. – 39 с.
9. Основания и фундаменты зданий в условиях глубокого сезонного промерзания грунтов / М.А. Малышев, В.В. Фурсов, М.В. Балюра [и др.]. – Томск: Изд-во Том. гос. ун-та, 1992. – 280 с.
10. Орлов В.О. Вертикальные перемещения малозаглубленных фундаментов при многолетнем сезонном промерзании-оттаивании пучинистых грунтов // Науч.-исслед. ин-т оснований и подземных сооружений им. Н.М. Герсеванова. – М., 1989. – С. 95–105.
11. Malysev M.A. Investigation of the deformation of clayey soils resulting from frost heaving and thawing in foundations due to loading // *IV International Conference on Permafrost*. – USA, Washington. National Academy Press, 1984. – P. 259–263.
12. Orlov V.O. Foundation settlements on season freezing soils // *V International Conference on Permafrost*. – Trondheim, Norway, 1988. – P. 1441–1445.
13. Руководство по проектированию оснований и фундаментов на пучинистых грунтах. – М.: Стройиздат, 1979. – 128 с.

14. Рекомендации по уменьшению касательных сил морозного выпучивания фундаментов с применением пластичных смазок / Науч.-исслед. ин-т оснований и подземных сооружений им. Н.М. Герсеванова. – М., 1987. – 20 с.

15. Львович Ю.М. Геосинтетические и геопластиковые материалы в дорожном строительстве. Обзорная информация. – Вып. 7. – М., 2002. – 77 с.

## References

1. Bogomolov A.N., Ponomarev A.B., Mashchenko A.V., Kuznetsova A.S. Analiz vliianiia razlichnykh tipov armirovaniia na deformatsionnye kharakteristiki glinistogo grunta [Analysis of the influence of different types of reinforcement on the deformation characteristics of clay soils]. *Internet-vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Politematicheskaiia*, 2014, vol. 4 (35), pp. 1-9.

2. Khrustalev L.N. Rekomendatsii po primeneniiu sposoba stabilizatsii vechnomerzlykh gruntov v osnovanii zdaniia [Recommendations for use of the method of stabilization of permafrost soils at the base of the buildings]. Moscow: Nauchno-issledovatel'skii institut osnovanii i podzemnykh sooruzhenii imeni N.M. Gersevanova, 1985. 44 p.

3. Khrustalev L.N. Nadezhnost' i dolgovechnost' inzhenernykh sooruzhenii na vechnomerzlykh gruntakh v usloviakh global'nogo potepeniia klimata [Reliability and durability of engineering structures on permafrost under global warming]. *Osnovaniia, fundamenti i mekhanika gruntov*, 1993, pp. 10-13.

4. Matrosova D.S., Fursov V.V., Baliura M.V. Metody zashchity fundamentov ot moroznogo pucheniia v usloviakh glubokogo sezonnogo promerzaniia i vechnoi merzloty [Methods of protecting foundations from frost heaving in the conditions of deep seasonal frost and permafrost]. *61 Universitetskaia nauchno-tekhnicheskaiia konferentsiia studentov i molodykh uchennykh*. Tomsk, 2015, pp. 277-284.

5. Rempel A.W. Formation of ice lenses and frost heave. *Earth Surface, USA*, 2007, pp. 70-76.

6. Bing Hui, He Ping. Frost heave and bry density changes buring cyclic freeze-thaw of a silty clay. *Permafrost and Periglacial Processe, USA*. 2009. pp.65-70.

7. Brig itte Van Vliet-Lanoë. The significance of cryotubation phenomena in environmental reconstruction. *Journal of Quaternary Science, USA*, 1988, pp. 85-96.

8. Rukovodstvo po proektirovaniu osnovanii i fundamentov na puchinistykh gruntakh [Manual for the design of bases and foundations on heaving soils]. M.: Stroiizdat, 1979. 39 p.

9. Malyshev M.A., Fursov V.V., Baliura M.V. [et al.] Osnovaniia i fundamenti zdaniia v usloviakh glubokogo sezonnogo promerzaniia gruntov [Bases and foundations of buildings under conditions of deep seasonal freezing of soils]. Tomskii gosudarstvennyi universitet, 1992. 280 p.

10. Orlov V.O. Vertikal'nye peremeshcheniia malozaglublennykh fundamentov pri mnogoletnem sezonnom promerzanii-ottaivanii puchinistykh gruntov [Vertical movement of buried foundations under long-term seasonal freezing-thawing of the soil heaving]. Moscow: Nauchno-issledovatel'skii institut osnovanii i podzemnykh sooruzhenii imeni N.M. Gersevanova, 1989, 91, pp. 95-105.

11. Malyshev M.A. Investigation of the deformation of clayey soils resulting from frost heaving and thawing in foundations due to loading. *IV International Conference on Permafrost*. USA, Washington: National Academy Press, 1984, pp. 259-263.

12. Orlov V.O. Foundation settlements on season freezing soils. *V International Conference on Permafrost*. Trondheim, Norway, 1988, pp. 1441-1445.

13. Rukovodstvo po proektirovaniu osnovanii i fundamentov na puchinistykh gruntakh [Manual for the design of bases and foundations on heaving soils]. Moscow: Stroiizdat, 1979. 128 p.

14. Remomendatsii po umen'sheniiu kasatel'nykh sil moroznogo vypuchivaniia fundamentov s primeneniem plastichnykh smazok [Recommendations to reduce the tangential forces of the frosty swelling of the bases with application of greases]. Moscow: Nauchno-issledovatel'skii institut osnovanii i podzemnykh sooruzhenii imeni N.M. Gersevanova, 1987, 20 p.

15. L'vovich Iu.M. Geosinteticheskie i geoplastikovye materialy v dorozhnom stroitel'stve. Obzornaia informatsiia. [Geoplastics and geosynthetic materials in road construction. Overview]. Moscow, 2002, iss. 7. 77 p.