**ВЕСТНИК ПНИПУ.
СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА
Т. 7, № 4, 2016
PNRPU BULLETIN.
CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE**
<http://vestnik.pstu.ru/arhit/about/inf/>

DOI: 10.15593/2224-9826/2016.4.06

УДК 624.138

СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ЗАЩИТЫ ОТ МОРОЗНОГО ПУЧЕНИЯ ГРУНТА

И.А. Чернышева, А.В. Машченко

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия

О СТАТЬЕ

Получена: 31 августа 2016
Принята: 27 сентября 2016
Опубликована: 28 декабря 2016

Ключевые слова:

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

АННОТАЦИЯ

Рассматриваются противопучинистые методы, используемые на территории Российской Федерации. Обширная площадь нашей страны подвержена водонасыщению грунтов. Опасность воды заключается в том, что она может вызвать колебания основания из-за замерзания и оттаивания. Эти деформации могут быть спровоцированы морозным пучением, которое, в свою очередь, вызывает нестабильность грунтов в связи с кристаллизацией воды под действием низких температур и вследствие этого выпучивание фундамента. Для таких ситуаций были разработаны методы борьбы с пучинистыми свойствами грунтов. Под противопучинистыми понимают такие мероприятия, которые направлены на поддержание грунта в устойчивом состоянии, исключая деформации, такие как выпучивание грунта, перемещение вверх и вниз фундаментов в этих основаниях и т.д. Данные методы используют в ситуациях, когда нормативная нагрузка от всего сооружения гораздо меньше сил морозного пучения грунта или когда осадки или деформации пучения при оттаивании грунта гораздо больше предельно допустимых значений деформаций. На данный момент известные и используемые противопучинистые мероприятия условно разделены на инженерно-мелиоративные (тепломелиорация и гидромелиорация), конструктивные, физико-химические (гидрофобизация грунтов, добавки полимеров, засоление и др.), комбинированные категории. При игнорировании процесса морозного пучения грунтов могут возникнуть аварийные ситуации, ведущие к разрушению зданий и сооружений.

© ПНИПУ

© Чернышева Ирина Алексеевна – магистрант, e-mail: chernysheva3009@yandex.ru.
Машченко Александра Витальевна – аспирант, e-mail: Lybra013@yandex.ru.

Irina A. Chernysheva – Masters Student, e-mail: chernysheva3009@yandex.ru.
Aleksandra V. Mashchenko – Postgraduate Student, e-mail: Lybra013@yandex.ru.

COMPARISON OF METHODS OF PROTECTION OF FROST HEAVING SOIL

I.A. Chernysheva, A.V. Mashchenko

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

ARTICLE INFO

Received: 31 August 2016
Accepted: 27 September 2016
Published: 28 December 2016

Keywords:

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

ABSTRACT

This article discusses the comparison of methods of protection of frost heaving soil in the Russian Federation. The vast territory is water-bearing ground. Water danger can cause fluctuations in the soil base due to freezing and thawing water. The frost heaving soil – it is the instability of the soil due to the crystallization water under the influence of low temperatures, and thus loss of stability foundation. Methods were created for struggle with properties of heaving soil. Methods of protection of frost heaving soil – are actions aimed at maintaining the soil in a normal state ground, in which no buckling soil, deformation of foundation and etc. These methods are used in situations where a service load on all building or all construction structure is much less than the forces of frost heaving of the soil, or when setting of ground or frost heave of ground deformation during thawing soil much more maximum allowable strain values. As a result a construction lose a stability. Currently methods of dealing with frost heaving soils conditionally are divided into the following categories such as engineering and reclamation (thermo-reclamation and hydroland); techniques associated with construction elements structures; physico-chemical (water-repellency of soils, polymer additives, salinization and others); combined. Ignoring this process causes the accidents such as to the destruction of buildings and structures.

© PNRPU

Значительная территория нашей страны состоит из водонасыщенных дисперсных грунтов [1]. Как известно, водонасыщенные глинистые грунты относят к слабым категориям грунта ввиду особенностей их деформирования. Это и значительные объемные деформации, медленные процессы ползучести, небольшая прочность, медленная фильтрационная консолидация и т.д. Одним из наиболее опасных видов деформации водонасыщенных грунтов является морозное пучение.

Морозное пучение представляет собой процесс неравномерного увеличения объема грунта, связанный с увеличением объема воды в порах грунта [2]. Это может происходить из-за замерзания частичек воды при понижении температуры, поступления воды из соседних немерзлых зон или за счет комплекса процессов тепловлагообмена (рис. 1). Поскольку большая часть территории России, а именно ее северная и центральная части, отличается значительными температурными колебаниями и сезонным промерзанием [3], то вопрос защиты от морозного пучения является одним из актуальных в геотехнике на сегодняшний день.

Целью данной работы стали обзор и анализ основных методов защиты грунта от сил морозного пучения.

Рис. 1. Схема миграции пленочной влаги при промерзании грунта: 1 – твердая частица; 2 – лед; 3 – пленочная влага; 4 – свободная вода; 5 – зона питания; 6 – зона промерзания

Fig. 1. Diagram of migration a film of moisture during the freezing of the soil: 1 – particulate matter; 2 – ice; 3 – film of moisture; 4 – free water; 5 – feed zone; 6 – zone freezing

При проектировании, расчете и строительстве зданий и сооружений, а также их реконструкции необходимо учитывать силы морозного пучения, действующие на фундамент и здание в целом. Нормальная составляющая силы действует непосредственно на подошву фундамента либо подстилающие слои линейных сооружений (например, железных или автомобильных дорог), в то время как касательная действует на боковую поверхность фундаментов. Кроме того, значения данных сил напрямую зависят от глубины заложения фундамента. Так, при увеличении глубины значения нормальных сил уменьшаются, однако увеличатся значения касательных сил вследствие увеличения и площади боковой поверхности фундамента. Силы морозного пучения, действующие на фундамент здания, изображены на рис. 2.

Рис. 2. Силы морозного пучения: P – нагрузка от здания; σ – нормальные силы морозного пучения; τ – касательные силы морозного пучения

Fig. 2. The forces of frost heaving: P – load of the building; σ – normal forces of frost heaving; τ – tangential forces of frost heaving

Морозное пучение может привести к значительным повреждениям зданий гражданского и промышленного назначения, линейных сооружений, транспортных коммуникаций, нарушению работы подземных инженерных сетей и т.д. Последствиями игнорирования морозного пучения являются неравномерное поднятие и опускание зданий и сооружений при оттаивании и замерзании грунта в разное время года (рис. 3) [4].

Рис. 3. Разрушение балки пола веранды силами сцепления мерзлого грунта

Fig. 3. Destruction of the veranda floor joists due to forces frozen soil

Методы борьбы с морозным пучением можно разделить на две группы: противопучинистая мелиорация грунтов (табл. 1) и противопучинистая стабилизация фундаментов [5–11].

Таблица 1

Методы противопучинистой мелиорации грунтов

Table 1

Methods of reclamation against heaving soils

Название метода	Суть	Подходящие типы грунтов	Достоинства	Недостатки
Тепловая мелиорация	Создание в грунте слоя теплоизоляции для исключения промерзания грунта; прокладка подземных коммуникаций вблизи фундамента для выделения в грунт тепла	Все грунты, на которых к зимнему периоду находятся незавершенные строительные объекты	Возможно регулирование теплообмена в грунтах и управление силовыми воздействиями и процессами пучения	Площадка должна быть тщательно утрамбована и спланирована перед прокладкой теплоизоляции
Гидромелиоративные мероприятия (устройство дренажей, иглофильтрация, устройство водосборных канав и т.д.)	Понижение уровня грунтовых вод, предотвращение перенасыщения грунтов поверхностными водами	Все виды грунтов	Относительно недорогой метод	Необходимо отапливать дренажные системы в слое промерзания; вертикальная планировка территории
Физико-химические мероприятия – гидрофобизация грунтов	Приобретение грунтами водоотталкивающих свойств путем их обработки вяжущими при определенных гидротермических условиях	Супеси и пылеватые пески с преобладанием фракций от 0,5 до 0,05 мм, карбонатные грунты (лессы, морены и пр.), глины, суглинки	Высокая водоустойчивость	Добавление поверхностно-активных веществ, кислот и фенолов в грунт, что пагубно влияет на окружающую среду; большие временные и трудовые затраты
Физико-химические мероприятия – засоление грунтов	Обработка поверхности грунта твердой солью или концентрированным раствором хлористого кальция	Грунты с малым коэффициентом фильтрации	Дешевый метод	Имеют временный характер, при неправильной технологии возможны повышение морозоопасности грунта, загрязнение почвы, ухудшение строительных материалов
Физические противопучинистые мероприятия	Стабилизация грунтов посредством компенсации их пучения путем введения специальных добавок	—	Применение добавок позволяет компенсировать пучение грунта при его промерзании и просадочность при его оттаивании	—

Окончание табл. 1

Название метода	Суть	Подходящие типы грунтов	Достоинства	Недостатки
Строительно-конструктивные мероприятия	Усиление эффективности работы конструкций фундаментов и сооружений в пучинистых грунтах	Все виды грунтов	Наиболее простой и распространенный способ	На малозагруженных фундаментах с опорно-анкерными плитами нужно учитывать силы, препятствующие выпучиванию фундамента
Армирование геосинтетиками	Обеспечение надежности конструкции на слабых основаниях с помощью геосинтетиков	—	Прочный, экономичный, экологичный, взаимозаменяемый материал, может выполнять сразу несколько функций	Материал требует аккуратного хранения и эксплуатации; мало изучен и мало применяется в России

Противопучинистая стабилизация фундаментов заключается в проведении строительно-конструктивных мероприятий, позволяющих повысить эффективность работы конструкций зданий и сооружений в пучинистых грунтах. К таким мероприятиям относятся использование в фундаментах свай с уширенной пятой, конструкции кустовых свай, устройства наклонных боковых граней у фундаментов из железобетона, а также уменьшение сечения столбчатых свай. Кроме этого, необходимо устройство отстоки для предотвращения попадания поверхностных вод.

В наши дни широкое распространение получило использование геосинтетических материалов (рис. 4), так как геосинтетики повышают несущую способность грунта и уменьшают его деформации.

Рис. 4. Применение различных геосинтетиков для армирования грунтов: а – георешетка; б – геомембрана; в – геосетка; г – геотекстиль; д – геокомпозит; е – фиброволокно

Fig. 4. The use of various geosynthetics for soil reinforcement: a – geogrid; b – geomembrane; c – geogrid; d – geotextiles; e – geocomposite; f – fiber

К особенностям армирования геосинтетическими материалами можно отнести то, что они обеспечивают надежность конструкции на слабых основаниях. Плюсы этого метода – в большой прочности геосинтетиков, их экологичности, взаимозаменяемости и способности выполнять сразу несколько функций. К минусам можно отнести появление дефектов на материале из-за неправильного хранения или эксплуатации материала. Метод использования геосинтетических материалов в качестве противопучинистых мероприятий изучен недостаточно хорошо. Однако проведен ряд лабораторных испытаний на специальных приборах (рис. 5) [12] для определения относительной деформации пучения грунта без армирования и при армировании некоторыми геосинтетическими материалами [13].

Рис. 5. Приборы для определения пучинистых свойств грунтов
Fig. 5. Instruments for determining properties of heaving of soil

Исследования проводились для глинистых грунтов разной консистенции от тугопластичной до текучепластичной при $I_L = 0,4; 0,6; 0,8$. В качестве армирования были выбраны следующие геосинтетические материалы: геотекстиль тканый «Геоспан ТН 50», геокомпозит Polyfelt Rock ПЕС, фиброволокно. Испытания проводились согласно ГОСТ 28622–2012 «Грунты. Метод лабораторного определения степени пучинистого грунта». При армировании слой геотекстиля и геокомпозита находился посередине образца (рис. 6), а фиброволокно смешивалось с грунтом в соотношении 1 % к массе сухого грунта [14].

Рис. 6. Образец глинистого грунта после испытания: *а* – часть грунта, расположенная перед слоем геокомпозита; *б* – часть грунта, расположенная выше слоя геокомпозита
Fig. 6. Sample of clay after the test: *a* – part of the soil, located before the layer of geocomposite; *b* – part of the soil layer situated above the geocomposite

После испытаний были посчитаны значения относительной деформации пучения грунтов ε_{fh} , которые представлены в табл. 2 [15].

Таблица 2

Значения относительной деформации пучения грунтов

Консистенция грунтов	Относительная деформация пучения неармированных грунтов ε_{fh} , %	Относительная деформация пучения армированных грунтов ε_{fh} , %		
		Геотекстиль тканый	Геокомпозит	Фиброволокно
Тугопластичные глины	2,9	2,1	2,6	5,4
Мягкопластичные глины	3,9	2,7	2,5	6,0
Текучепластичные глины	3,0	3,18	3,18	7,5

По результатам исследований, представленных в табл. 2, можно сказать, что армирование грунтов геотекстилем тканым и геокомпозитом снижают деформации пучения глинистых грунтов до 25 %. При этом деформации пучения уменьшаются как за счет эффекта армирования, так и за счет уменьшения геосинтетическими материалами миграции влаги в грунте. Эффективность армирования глинистых грунтов также зависит от консистенции грунта. В текучепластичных глинах эффект армирования наиболее слабый. Внедрение в грунты отдельных фиброволокон, наоборот, увеличивает деформации пучения грунта более чем в 2 раза. Внедрение фиброволокна в грунты, подверженные морозному пучению, нецелесообразно [14].

Исходя из вышесказанного, можно сделать следующие выводы:

1. Противопучинистые мероприятия являются важным аспектом в строительстве, так как большая часть территории России подвержена сезонным промерзаниям грунта.
2. Противопучинистые мероприятия выбираются исходя из рельефа местности, геологических особенностей грунта, типа источника увлажнения.
3. Физико-химический способ засоления грунтов – наиболее дешевый метод.
4. Одним из самых трудозатратных методов является гидрофобизация.
5. Строительный метод – самый распространенный на территории России.
6. Перспективный метод защиты – армирование пучинистых грунтов геосинтетиками. Актуально дальнейшее исследование влияния различных геосинтетических материалов на пучинистые свойства грунтов.

Библиографический список

1. Анализ влияния различных типов армирования на деформационные характеристики глинистого грунта / А.Н. Богомолов, А.Б. Пономарев, А.В. Машенко, А.С. Кузнецова // Интернет-вестник Волгоград. гос. арх.-строит. ун-та. Сер. Политематическая. – 2014. – Вып. 4 (35). – С. 1–9.
2. Rempel A.W. Formation of ice lenses and frost heave // Earth Surface. – 2007. – Vol. 498. – P. 70–76.
3. Хрусталеv Л.Н. Рекомендации по применению способа стабилизации вечномерзлых грунтов в основании зданий / НИИОСП им. Н.М. Герсевича. – М., 1985. – 44 с.
4. Brigitte Van Vliet-Lanoë. The significance of cryoturbation phenomena in environmental reconstruction // Journal of Quaternary Science. – 1988. – № 13 (4). – P. 85–96.

5. 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.
6. 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. – Washington National Academy Press, 1984. – P. 259–263.
7. Orlov V.O. Foundation settlements on season freezing soils // V International Conference on Permafrost. – Trondheim, 1988. – P. 1441–1445.
8. Рекомендации по уменьшению касательных сил морозного выпучивания фундаментов с применением пластичных смазок / НИИОСП им. Н.М. Герсевича. – М., 1987. – 20 с.
9. Львович Ю.М. Геосинтетические и геопластиковые материалы в дорожном строительстве. Обзорная информация. – М., 2002. – Вып. 7. – 77 с.
10. Мащенко А.В., Пономарев А.Б. Влияние армирования геосетки на механические характеристики водонасыщенных грунтов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2015. – № 3. – С. 81–92. DOI: 10.15593/2224-9826/2015.3.10
11. Пономарев А.Б., Офрихтер В.Г. Анализ и проблемы исследований геосинтетических материалов в России // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2013. – № 2. – С. 68–73.
12. Мащенко А.В., Чернышева И.А. К вопросу использования различных методов защиты от морозного пучения // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2016. – № 1. – С. 39–46. DOI: 10.15593/2224-9826/2016.1.05
13. Мащенко А.В., Пономарев А.Б., Моисеева Ю.Ю. Анализ изменения деформационных свойств глинистого грунта, армированного геосинтетическими материалами, при разном показателе текучести // Экология. – 2014. – № 3 – С. 106.
14. Мащенко А.В., Пономарев А.Б. Анализ влияния армирования фиброволокном на свойства глинистых грунтов в условиях сезонного промерзания и оттаивания // Вестник Волгоград. гос. арх.-строит. ун-та. Строительство и архитектура. – 2016. – № 44-1 (63). – С. 40–50.
15. Мащенко А.В. Влияние армирования геосинтетическими материалами на пучинистые свойства грунтов // Вестник гражданских инженеров. – 2015. – № 6 (53). – С. 100–103.

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. Seria Politematicheskaya*, 2014, iss. 4 (35), pp. 1-9.
2. Rempel A.W. Formation of ice lenses and frost heave. *Earth Surface*, 2007, vol. 498, pp. 70-76.
3. Khrustalev L.N. Rekomendatsii po primeneniiu sposoba stabilizatsii vechnomerzlykh gruntov v osnovanii zdaniy [Recommendations for use of the method of stabilization of permafrost soils at the base of the buildings]. Moscow, 1985. 44 p.

4. Brigitte Van Vliet-Lanoë. The significance of cryoturbation phenomena in environmental reconstruction. *Journal of Quaternary Science*, 1988, no. 13 (4), pp. 85-96.

5. Malyshev M.A., Fursov V.V., Baliura M.V. [et al.]. Osnovaniia i fundamenty zdaniy v usloviyakh glubokogo sezonnogo promerzaniia gruntov [Bases and foundations of buildings under conditions of deep seasonal freezing of soils]. Tomsk: Tomskii gosudarstvennyi universitet, 1992. 280 p.

6. 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*. Washington: National Academy Press, 1984, pp. 259-263.

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

8. Rekomendatsii 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, 1987. 20 p.

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

10. Mashchenko A.V., Ponomarev A.B. Vliianie armirovaniia geosetki na mekhanicheskie kharakteristiki vodonasyshchennykh gruntov [The influence of reinforcement of geogrid on the mechanical characteristics of water-saturation soils]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arhitektura*, 2015, no. 3, pp. 81-92. DOI: 10.15593/2224-9826/2015.3.10

11. Ponomarev A.B., Ofrikhter V.G. Analiz i problemy issledovaniia geosinteticheskikh materialov v Rossii [Analysis of problems and research of geosynthetic in Russia]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arhitektura*, 2013, no. 2, pp. 68-73.

12. Mashchenko A.V., Chernysheva I.A. K voprosu ispol'zovaniia razlichnykh metodov zashchity ot moroznogo pucheniia [Comparison of methods of protection of frost heaving soil]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arhitektura*, 2016, no. 1, pp. 34-46. DOI: 10.15593/2224-9826/2016.1.05

13. Mashchenko A.V., Ponomarev A.B., Moiseeva Iu.Iu. Analiz izmeneniia deformatsionnykh svoystv glinistogo grunta, armirovannogo geosinteticheskimi materialami, pri raznom pokazatele tekuchesti [Analysis of changes in the deformation properties of clayey soil reinforced with geosynthetic materials at different flow rate]. *Ekologiya*, 2014, no. 3, p. 106.

14. Mashchenko A.V., Ponomarev A.B. Analiz vlianiia armirovaniia fibrovloknom na svoystva glinistykh gruntov v usloviyakh sezonnogo promerzaniia i ottaivaniia [Analysis of the effect of fiberglass reinforcement on the properties of clayey soils under conditions of seasonal freezing and thawing]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitel'stvo i arhitektura*, 2016, no. 44-1 (63), pp. 40-50.

15. Mashchenko A.V. Vliianie armirovaniia geosinteticheskimi materialami na puchinistye svoystva gruntov [The effect of geosynthetic reinforcement materials in heaving properties of soils]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*, 2015, no. 6 (53), pp. 100-103.