

УДК 624.1

МОРОЗНОЕ ПУЧЕНИЕ ГРУНТОВ КАК ФАКТОР ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА В УСЛОВИЯХ ГОРОДА МОСКВЫ

© 2020 г. В. А. Курочкина^{1,*}, И. Ю. Яковлева^{1,**}

¹ *Национальный исследовательский Московский строительный государственный университет (НИУ МГСУ), Ярославское шоссе, 26, г. Москва, 129337 Россия*

**E-mail: Kurochkina@mgsu.ru*

***E-mail: YakovlevaIYU@mgsu.ru*

Поступила в редакцию 14.10.2019 г.

После доработки 18.10.2019 г.

Принята к публикации 18.10.2019 г.

При ведении работ нулевого цикла во время строительства гражданских зданий и сооружений не учитывается сезонность выполнения работ. Очень часто не предусматриваются защитные мероприятия по предохранению грунтов основания от возможного промораживания, что впоследствии может проявиться появлением трещин в несущих конструкциях здания и повлиять на их несущую способность. В статье рассмотрено морозное пучение глинистых грунтов основания фундаментов при строительстве жилого здания в г. Москве. Приведены результаты фактических геодезических исполнительных съемок, подтверждающие значительные вертикальные деформации грунта. Выполнен анализ среднесуточных температур воздуха в период производства работ по устройству конструкций фундамента. Описаны причины появления морозного пучения. Отмечены мероприятия по ликвидации последствий морозного пучения.

Ключевые слова: *грунты основания, глинистые грунты, морозное пучение, деформация*

DOI: 10.31857/S0869780920010081

ВВЕДЕНИЕ

При разработке проектов строительства гражданских зданий в г. Москве, как правило, не учитывается сезонность выполнения работ. Во многих проектах разработка котлованов предусматривается в весенне-осенний период года при положительной температуре воздуха. Но это не всегда возможно, как правило, работы нулевого цикла выполняются в холодный период года при отрицательных температурах. При этом очень важно не допустить промерзания грунта, так как это может привести к возникновению морозного пучения, под которым понимается процесс увеличения объема грунта при его замерзании из-за кристаллизации поровой и мигрирующей воды с образованием кристаллов и линз льда. Чаше морозному пучению подвержены глинистые грунты.

В работах [3, 8–10, 12, 14, 15] авторы отмечают, что при строительстве на мерзлотных грунтах, возникает необходимость учитывать морозное пучение и принимать меры по минимизации его негативного влияния: на строящийся объект [10, 3], при эксплуатации автомобильных [8, 9] и железных дорог [14, 12], а также нефтепроводов [15]. В работе [12] авторы приводят результаты геодези-

ческих наблюдений за процессом морозного пучения на железных дорогах и отмечают, что данные наблюдения позволяют контролировать процессы морозного пучения, вовремя принимать меры по их минимизации и предотвращению возникновения аварийных ситуаций на железнодорожном транспорте. Морозное пучение может встречаться не только в мерзлых и многолетне-мерзлых грунтах, но и при сезонном промерзании грунтов. В работе [1] описан процесс влияния морозного пучения грунтов на уже построенные здания, при этом обращается внимание на возникновение морозного пучения в грунтах основания еще недостроенного здания и негативное последствие этого процесса в виде возникновения трещин в несущих конструкциях здания, а также приводятся мероприятия по размораживанию грунтов и улучшению их свойств путем дополнительного цементирования. В инженерной практике автора статьи [1] встречались случаи устройства фундаментов на замещенном песчаном грунте в зимнее время при окружающей температуре минус 28°С.

Исследуя в лабораторных условиях различные виды глинистых грунтов, разные авторы сходятся во мнении, что процесс пучения может начинать-

Таблица 1. Результаты исполнительных съемок по точкам 1–10

Дата съемки	Отклонения, мм									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
29.11.18	+15	+15	+22	+20	+5	–5	+15	+17	+11	+14
18.12.18	+31	+32	+53	+64	+27	+35	+21	+46	+34	+34
Вертикальная деформация грунта на 18.12.18	16	17	31	44	22	40	6	29	24	20
26.12.18	+48	+51	+53	+65	+43	+60	+63	+51	+38	+40
Вертикальная деформация грунта на 26.12.18	33	36	33	45	38	65	48	34	27	26

Таблица 2. Результаты исполнительных съемок по точкам 11–17

Дата съемки	Отклонения, мм									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
26.12.18	+16	+1	+10	+7	+16	–13	+7	0	+5	–6
18.12.18	+39	+30	+23	+16	+38	+33	+30	+15	+28	+19
Вертикальная деформация грунта на 18.12.18	23	29	13	9	22	50	23	15	23	25
26.12.18	+40	+41	+37	+16	+62	+49	+39	+36	+39	+47
Вертикальная деформация грунта на 26.12.18	24	40	27	9	46	62	32	36	34	53

ся уже при температуре -0.35°C , и продолжаться до температур ниже -10°C [2]. Отмечается потеря грунтами начальных свойств после их оттаивания и зависимость пучения грунтов от степени их увлажненности [12]. Согласно п. 8.9 СП 45.13330.2012 “Земляные сооружения, основания и фундаменты” (актуализированная редакция СНиП 3.02.01-87) “*в зимнее время поверхность дна котлована, уплотненного основания следует предохранять от промерзания, а перед устройством фундаментов ростверком убирать снег, лед, промерзший разрыхленный грунт*”. Но зачастую эти требования не выполняются при ведении работ нулевого цикла в период отрицательных температур [5]. В связи с чем высока вероятность промораживания грунтов и, как следствие, возникает необходимость принимать дополнительные меры по устранению последствий морозного пучения грунтов основания [6]. Поэтому тема морозного пучения при строительстве гражданских зданий является актуальной и малоизученной [7, 13].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Так процесс морозного пучения наблюдался при строительстве жилого здания с подземной стоянкой в г. Москве. Возводимое жилое здание имеет сложную форму в виде буквы П с размерами в плане 92×82 м. Высота надземной части зда-

ния 7–11 этажей (до 41 м). Разработка котлована велась открытым способом в сентябре–ноябре 2018 г. Глубина котлована – 5 м, в качестве фундамента проектом предусматривалось устройство монолитной железобетонной плиты. После откопки котлована была выполнена гидроизоляция, и устроена защитная стяжка. Также были выполнены исполнительные геодезические съемки фактического планово-высотного положения защитной стяжки на 29.11.2018 (табл. 1, 2). При ведении работ по армированию фундаментной плиты было замечено повышение ее уровня. После чего были выполнены повторные геодезические исполнительные съемки на 18.12.18 г. и 26.12.18 г., результаты которых представлены на рис. 1 и в табл. 1, 2.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Согласно исполнительным съемкам было зафиксировано неравномерное поднятие стяжки от 9 до 65 мм. Анализ погодных условий показал (рис. 2), что в течение периода выполнения работ по устройству фундамента, среднесуточная температура воздуха была минус 6°C , при этом отмечаются периоды, когда температура воздуха была 0° и выше (5 и 10–12 декабря), а также наличие осадков в виде снега. При этом никаких дополнительных мероприятий по утеплению грунтов ос-

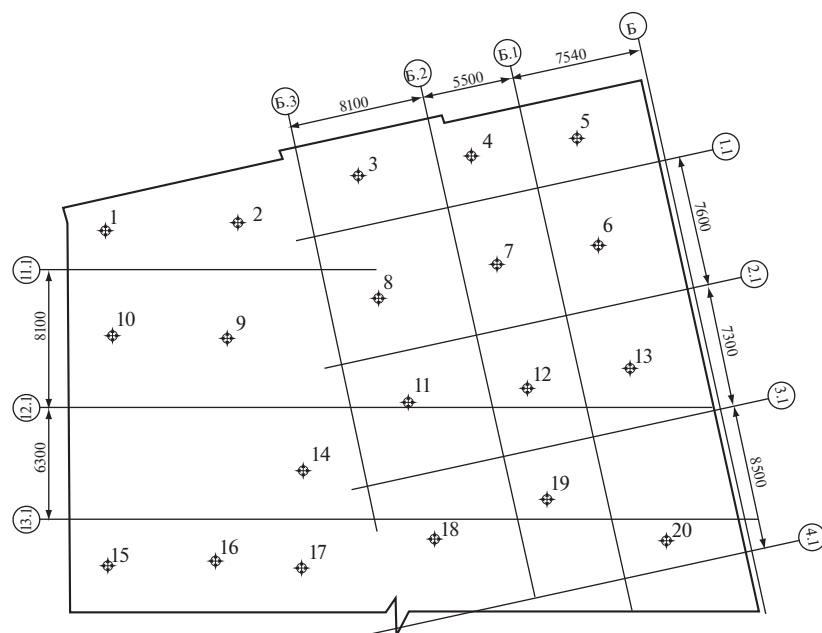


Рис. 1. Схема участка с номерами измеряемых точек.

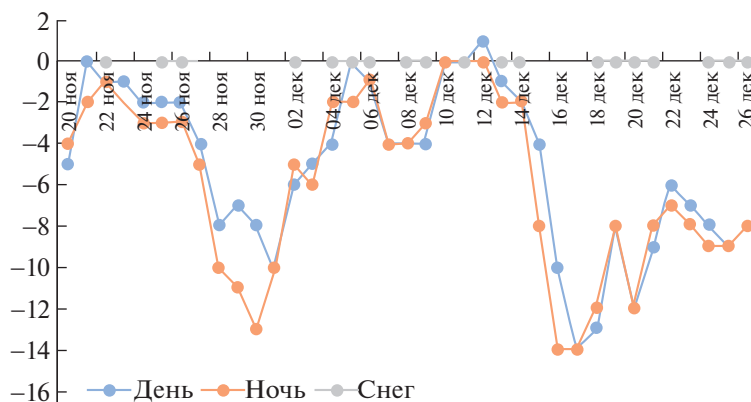


Рис. 2. График температур с 20.11.18 г. по 26.12.18 г.

нования фундамента не проводилось. Можно предположить, что произошло их промораживание.

Из инженерно-геологического разреза (рис. 3) видно, что в основании фундамента находятся грунты ИГЭ-4 и ИГЭ-5, относящиеся к отложениям морены московского оледенения (gQ_{II}^{ms}):

– ИГЭ-4 – суглинок красновато-коричневый, слабо песчанистый, с включениями дресвы и щебня, с тонкими прослоями и гнездами песка, насыщенного водой, тугопластичной консистенции, мощностью 1.0–3.9 м;

– ИГЭ-5 – суглинок красновато-коричневый, слабо песчанистый, с включениями дресвы, щебня и гравия, с тонкими прослоями и гнездами

песка, полутвердой консистенции, мощностью 0.0–3.5 м.

В толще и по подошве моренных отложений отмечаются прослой мелкого глинистого песка, насыщенного водой мощностью до 0.3 м. Общая мощность отложений московской морены изменяется в пределах от 2.0 до 5.1 м.

Морозное пучение может быть обусловлено следующими причинами:

1. Подтекание воды под фундамент с последующим ее промерзанием в зимний период.

2. Наличие пучинистого грунта в основании фундамента.

В основании рассматриваемого нами фундамента располагаются суглинки, которые относят-

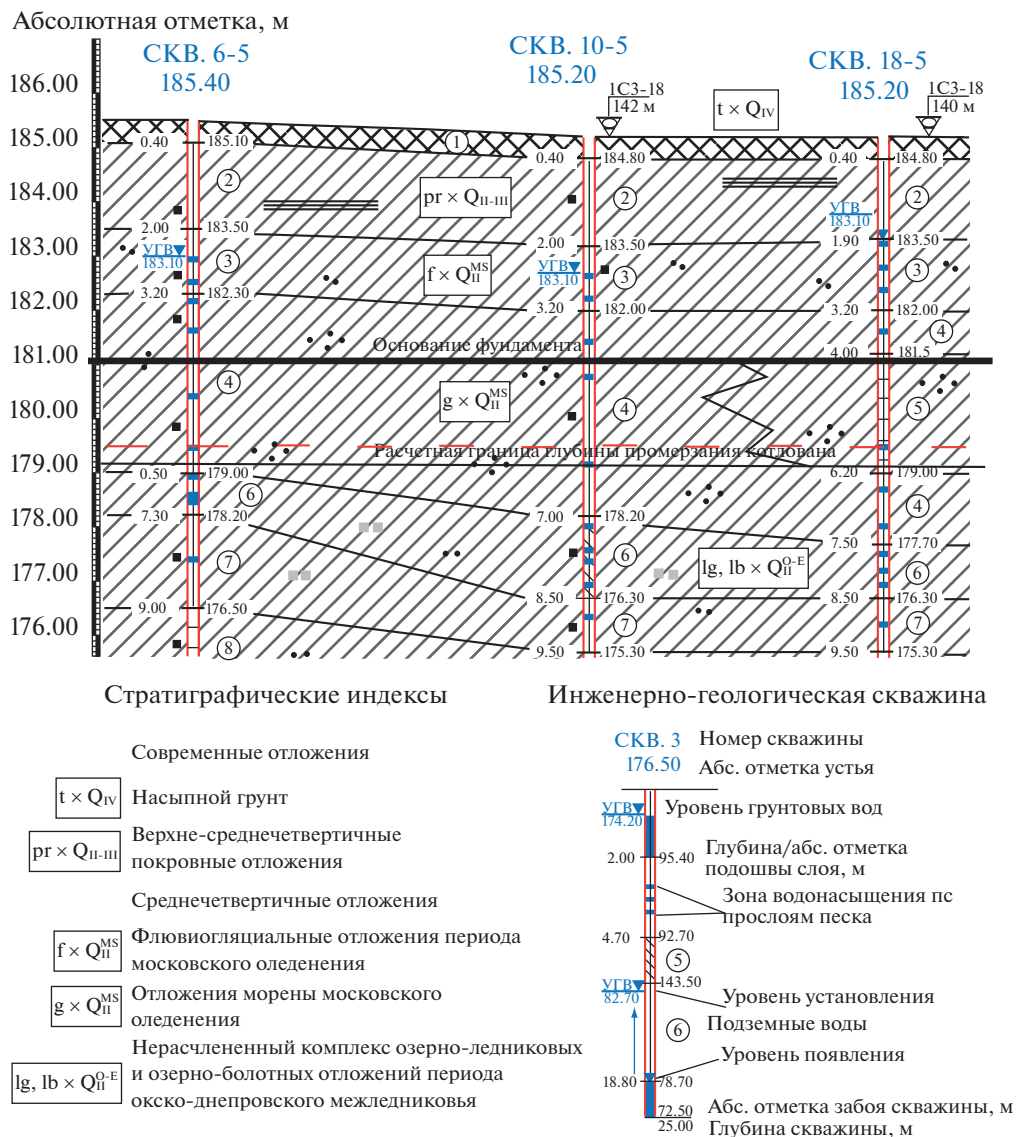


Рис. 3. Инженерно-геологический разрез.

ся к глинистым грунтам. Моренные суглинки хоть и облают значительной водопрочностью, но все же размокают и размываются водой. При размочении особенно в соприкосновении со стоячей водой они разрушаются с потерей в той или иной степени несущей способности. Поэтому продолжение строительства без принятия мер по устранению морозного пучения в данном случае не представляется возможным, так как фактические характеристики грунтов основания могут оказаться хуже, чем учтенные проектом. Для того чтобы определить отклонения фактических характеристик грунтов от проектных, необходимо разморозить грунты основания, провести дополнительные исследования прочностных характеристик размороженного грунта. Для выбора мероприятий по укреплению грунтов основания не-

обходимо определить глубину промерзания грунта. К таким мероприятиям могут относиться:

1. Замещение пучинистого грунта непучинистым, например, песчаным. Для этого необходимо вынуть весь промерзший грунт и отсыпать песчаным грунтом до проектной отметки с послойной трамбовкой до достижения коэффициента уплотнения $K = 0.95$. При использовании данного способа на стыке песчаного и глинистого грунта возможно образование нового водоносного горизонта, наличие которого впоследствии может привести к разуплотнению грунтов основания и неравномерным деформациям здания.
2. Механическое уплотнение размороженного грунта. Однако не все существующие методы механического уплотнения грунтов (укатка, вибри-

рование, вибротрамбование, трамбование и др.) могут быть использованы при уплотнении глинистых грунтов. Для эффективного уплотнения глинистых грунтов наиболее подходят ударные методы, требующие специального оборудования и технологий. При этом согласно п. 17.1 СП 45.13330.2012 необходимо проводить опытное трамбование на небольших участках с целью проверки технологии трамбования для получения заданных характеристик грунта. При использовании этого вида закрепления грунтов основания фундаментов возникает необходимость в демонтаже арматурного каркаса и бетонной подготовки.

3. Закрепление грунтов основания. Согласно п. 16.3 СП 45.13330.2012 для глинистых грунтов в качестве закрепления грунтов может быть выбран один из способов цементации: цементация грунтов инъекцией в режиме гидроразрыва или цементация грунтов по струйной технологии [11]. Последний способ наиболее предпочтителен, так как может быть выполнен без демонтажа конструкций фундамента. Этот метод наиболее надежен, но потребуются изменение первоначального проекта и значительное удорожание объекта строительства.

ВЫВОДЫ

При устройстве котлованов в зимнее время может наблюдаться морозное пучение грунтов основания фундамента. Очень часто в проектах производства работ предусматривается откопка котлована только в весенне-летний период. Вследствие чего не предусматриваются защитные мероприятия по предохранению грунтов основания от возможного промерзания. При этом в нормативной документации нет подробных рекомендаций как защитить котлован от промерзания в осенне-зимний период.

1. Промораживание грунтов основания негативно сказывается на несущих конструкциях здания. Из-за неравномерности деформаций вызванных морозным пучением в конструкциях возникают трещины, снижающие несущую способность сооружения в целом.

2. Следует отметить, что процесс промерзания грунтов может продолжаться и после устройства бетонной подготовки и фундамента, если их суммарная толщина не превышает значение максимальной нормативной глубины сезонного промерзания грунтов. Поэтому очень важно после устройства бетонной подготовки, а также во время проведения работ по устройству фундаментов, предусматривать дополнительные защитные мероприятия от промерзания грунтов основания, используя, например, специальные утепляющие маты или так называемые “тепляки”.

3. В случае заморозки грунтов основания, строительство следует временно остановить, провести работы по его оттаиванию, при этом грунт после оттаивания, как правило, теряет свои свойства, поэтому необходимо выполнить повторное освидетельствование грунтов с целью определения их физико-механических свойств и возможности их использования в качестве естественного основания.

4. В случае изменения свойств необходимо предусмотреть мероприятия по улучшению строительных свойств грунтов основания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алексеев А.Г.* Промерзание грунта в основании фундаментной плиты многоэтажного здания и его последствия // Промышленное и гражданское строительство. 2018. № 4. С. 37–43.
2. *Геворкян С.Г.* Влияние температуры замораживания грунта на процесс его морозного пучения // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2018. № 8. С. 23–27.
3. *Иванов С.П.* Морозное пучение грунтов и его влияние на фундамент (на примере заполярного нефтегазоконденсатного месторождения) // Академический журнал Западной Сибири. 2012. № 4. С. 6–7.
4. *Каченов В.И., Ажгихина Т.К.* Влияние дисперсности глинистых грунтов на их морозное пучение // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. 2015. № 15. С. 153–154.
5. *Максимов Ф.А., Толмачев Э.Л.* Лабораторные исследования морозного пучения грунтов прибором конструкции южно-уральского государственного университета // Вестник Южно-уральского государственного университета. Сер.: строительство и архитектура. 2009. № 35 (168) С. 52–56.
6. *Мельников А.В.* Лабораторные исследования вертикальных и горизонтальных нормальных сил, и деформаций морозного пучения глинистого грунта // Вестник гражданских инженеров. 2012. № 2 (31). С. 126–131.
7. *Свидерских А.В.* Исследование различных типов грунта на морозное пучение при оптимальной влажности и его анализ // Педагогическое образование на Алтае. 2014. № 2. С. 239–240.
8. *Тякина Р.Н., Бургунутдинов А.М.* Морозное пучение грунтов и борьба с этим явлением // Экология и научно-технический прогресс. Урбанистика. 2013. Т. 2. С. 468–473.
9. *Фурман Б. В., Ярмолинский А.И.* Причины и способы борьбы с морозным пучением на автомобильных дорогах // Матер. 57-й студенческой научно-техн. конф. инженерно-строительного института ТОГУ. Хабаровск: ТОГУ, 2017. С. 323–329.
10. *Чернышева И.А., Мащенко А.В.* К вопросу использования различных методов защиты от морозного пучения // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. 2016. Т. 7. № 1.

- C. 39–46.
<https://doi.org/10.15593/2224-9826/2016.1.05>
11. Яковлева И.Ю. Недоценка гидрогеологических условий при строительстве школы в деревне Путилково, Московской области // Интеграция, партнерство и инновации в строительной науке и образовании (IPICSE-2018) Москва, 14–16 ноября 2018 г.: матер. VI Междунар. научной конференции. 2018. С. 245–250.
 12. Fuxun Maa, Ruijie Xib, Nan Xu Analysis of railway subgrade frost heave deformation based on GPS // Geodesy and geodynamics. 2016. V. 7. № 2. С. 143–147. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geog.2016.04.001>
 13. Hyun Woo Jina, Janguen Leeb, Byung Hyun Ryub, Satoshi Akagawac Simple frost heave testing method using a temperature-controllable cell // Cold Regions Science and Technology 2019. V.157. P. 119–132. <https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2018.09.011>
 14. Satoshi Akagawaa, Michiaki Horib, Jyun Sugawarac Frost Heaving in Ballast Railway Tracks // Transportation Geotechnics and Geocology, TGG 2017, 17–19 May 2017, Saint Petersburg, Russia, Procedia Engineering. 2017. V. 189. С. 547–553. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.05.087>
 15. Wang Weia, Zhang Xifab & Lu Yanb An open frozen-heave test on the pipeline foundation soils in the permafrost regions // Natural Gas Industry. 2018. V. 5. P. 219–225. <https://doi.org/10.3787/j.issn.1000-0976.2017.10.013>

FROST HEAVE SOILS AS A GEOECOLOGICAL RISK FACTOR IN THE CONDITIONS OF MOSCOW

V. A. Kurochkina^{a,#} and I.Y. Yakovleva^{a,##}

^a National Research Moscow State University of Civil Engineering, Yaroslavskoe shosse 26, Moscow, 129337 Russia

[#]E-mail: Kurochkina@mgsu.ru

^{##}E-mail: YakovlevaIYU@mgsu.ru

The construction of the underground part of civil buildings and facilities does not take into account the seasonality of the work. Very often no protective measures are undertaken to prevent the possible freezing of foundation soils, which may later result in cracks in the load-bearing structures of buildings and facilities and may affect their bearing capacity. The article discusses the frost heaving of clay foundation soils by the example of a residential building in Moscow. Results of the actual geodetic executive survey, provided by the authors, confirm the appearance of significant vertical ground deformations in case the zero cycle technologies are violated. The article also describes the reasons for the appearance of such frost heaving on the basis of the analysis of average daily air temperatures during the construction of foundation structures. The measures for eliminating its consequences are proposed.

Keywords: soil base, clay soils, frost heaving, deformation

REFERENCES

1. Alekseev, A.G. *Promerzhanie grunta v osnovanii fundamentnoi plity mnogoetazhnogo zdaniya i ego posledstviya* [Soil freezing in the base of the foundation plate of a multistory building and its consequences]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*, 2018, no. 4, pp. 37–43. (in Russian)
2. Gevorkyan, S.G. *Vliyanie temperatury zamorazhivaniya grunta na protsess ego moroznogo pucheniya* [Influence of the soil freezing temperature on the its frost heaving]. *Aktual'nye problemy gumanitarnykh i estestvennykh nauk*, 2018, no. 8, pp. 23–27. (in Russian)
3. Ivanov, S.P. *Moroznoe puchenie gruntov i ego vliyanie na fundament (na primere zapolyarnogo neftegazokondensatnogo mestorozhdeniya)* [Frost heaving of soils and its effect on the foundation (by the example of a polar oil and gas condensate field)]. *Akademicheskii zhurnal Zapadnoi Sibiry*, 2012, no. 4, pp. 6–7. (in Russian)
4. Kachenov, V.I., Azhikhina, T.K. *Vliyanie dispersnosti glinistyykh gruntov na ikh moroznoe puchenie* [Influence of particle size in clay soils on their frost heaving]. *Geologiya i poleznye iskopaemye Zapadnogo Urala*, 2015, no. 15, pp. 153–154. (in Russian)
5. Maksimov, F.A., Tolmachev, E.L. *Laboratornye issledovaniya moroznogo pucheniya gruntov priborom konstruktssii Yuzhno-ural'skogo gosudarstvennogo universiteta* [Laboratory research of frost heaving of ground with authentic South Ural state university device]. *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: stroitel'stvo i arkhitektura*, 2009, no. 35 (168), pp. 52–56. (in Russian)
6. Mel'nikov, A.V. *Laboratornye issledovaniya vertikal'nykh i gorizonta'nykh normal'nykh sil, i deformatsii moroznogo pucheniya glinistogo grunta* [Laboratory research of vertical and horizontal normal forces and deformations of frost heaving of clay soil]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*, 2012, no. 2 (31), pp. 126–131. (in Russian)
7. Sviderskikh, A.V. *Issledovanie razlichnykh tipov grunta na moroznoe puchenie pri optimal'noi vlazhnosti i ego analiz* [The investigation of different soil types in the frost heave at the optimum moisture content and its analysis]. *Pedagogicheskoe obrazovanie na Altae*, 2014, no. 2, pp. 239–240. (in Russian)
8. Tyakina, R.N., Burgonutdinov, A.M. *Moroznoe puchenie gruntov i bor'ba s etim yavleniem*. [Frost heaving of

- soils and the fight against this phenomenon]. *Ekologiya i nauchno-tekhnicheskii progress. Urbanistika* [Ecology and progress in science and technology. Urban studies], 2013, vol. 2, pp. 468–473. (in Russian)
9. Furman, B.V., Yarmolinskii, A.I. *Prichiny i sposoby bor'by s moroznym pucheniem na avtomobil'nykh dorogakh* [Causes and methods of dealing with frost heaving on roads]. *Materialy 57-i studencheskoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii inzhenerno-stroitel'nogo instituta TOGU* [Proc. 57th Students Sci.-Techn. Conference of Engineering and Construction Institute TOGU], 2017, pp. 323–329. (in Russian)
 10. Chernysheva, I.A., Mashchenko, A.V. *K voprosu ispol'zovaniya razlichnykh metodov zashchity ot moroznogo pucheniya* [On the issue of using various methods of protection against frost heave]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arhitektura*, 2016, vol. 7, no. 1, pp. 39–46. DOI: 10.15593/2224-9826/2016.1.05 (in Russian)
 11. Yakovleva, I.Yu. *Nedootsenka gidrogeologicheskikh uslovii pri stroitel'stve shkoly v derevne Putilkovo, Moskovskoi oblasti* [Underestimation of hydrogeological conditions during the construction of a school in the village of Putilkovo, Moscow Region]. *Integratsiya, partnerstvo i innovatsii v stroitel'noi nauke i obrazovanii (IPICSE-2018)* [Integration, partnership and innovation in construction science and education]. Moscow, 2018, pp. 245–250. (in Russian)
 12. Fuxun, Maa, Ruijie, Xib, Nan, Xu. Analysis of railway subgrade frost heave deformation based on GPS. *Geodesy and geodynamics*, 2016, vol. 7, no. 2, pp. 143–147. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geog.2016.04.001>
 13. Hyun Woo Jina, Janguen Leeb, Byung Hyun Ryub, Satoshi Akagawac. Simple frost heave testing method using a temperature-controllable cell. *Cold Regions Science and Technology*, 2019, vol. 157, pp. 119–132. <https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2018.09.011>
 14. Satoshi Akagawaa, Michiaki Horib, Jyun Sugawarac. Frost Heaving in Ballast Railway Tracks. *Transportation Geotechnics and Geoecology*, TGG 2017, 17–19 May 2017, St. Petersburg, Russia, *Procedia Engineering*, 2017, vol. 189, pp. 547–553. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.05.087>
 15. Wang Weia, Zhang Xifab & Lu Yanb. An open frozen-heave test on the pipeline foundation soils in the permafrost regions. *Natural Gas Industry*, 2018, vol. 5, pp. 219–225. <https://doi.org/10.3787/j.issn.1000-0976.2017.10.013>