

15. Методы робастного, нейро-нечёткого и адаптивного управления: Учебник / под ред. Н.Д. Егупова, 2-е изд. М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 2002. 744 с.

16. Михайленко В.С., Ложечников В.Ф. Методы настройки нечеткого адаптивного ПИД-регулятора. ААЭКС, 2009. №2 (24)

17. Ротач В.Я., Клюев А.С. Автоматизация настройки систем управления. М.: Энергоиздат, 1984. 272 с.

18. Алиев Р.А., Церковный А.Э., Мамедова Г.А. Управление производством при нечеткой исходной информации. М.: Энергоиздат, 1991. 234 с

Рукопис подано до редакції 30.03.2021

УДК 624.131.23:624.15

Р.О. ТИМЧЕНКО, д-р техн. наук., проф., Д.А. КРИШКО, канд. техн. наук, ст. викл.,
Т.А. БАРОН, магістрант, Криворізький національний університет

ВЛАШТУВАННЯ ОСНОВ І ФУНДАМЕНТІВ НА ПРОСІДАЮЧИХ ҐРУНТАХ

Мета. Вивчення влаштування фундаментів на ґрунтах, що змінили свої властивості в процесі експлуатації, а також розглянути посилення ґрунтів шляхом підвищення їх несучої здатності, застосування фундаментів, здатних сприймати негативні впливи просідання ґрунтів.

Методи дослідження. В інженерно-геологічних і гідрогеологічних умовах при будівництві використовуються традиційні способи фундування. Аналіз досвіду фундування в геологічних умовах дозволяє запропонувати до застосування нові й ефективні типи фундаментів і сучасні технології. Особливість методу глибинного ущільнення полягає в тому, що відповідно до сумарної епюри розподілу за глибиною тисків від навантаження фундаментів, власної ваги ґрунту і навантаження від сил тертя, що виникають при просіданнях оточуючих ґрунтів, відбуваються зміни в лесовому масиві за його глибиною. При проектуванні фундаментів на лесових породах існує два основних напрямку, особливості яких необхідно враховувати: виняток неприпустимих осідань при розрахунку фундаментів за II групою граничних станів та конструктивні заходи щодо виключення (обмеження) осідань. Зведення будівель на просідаючих ґрунтах займає особливе місце в теорії і практиці будівництва. Це пояснюється, з одного боку, досить чутливою реакцією просідаючих ґрунтів на зовнішні впливи (зміна вологості, додаткового тиску від споруджуваних будинків і споруд та ін.), з іншого – розширюється спектр об'єктів, що будуються (висотні будівлі житлового та громадського призначення, великі виробничі та фабричні споруди, будівельні комплекси та ін.).

Наукова новизна. Вибір раціональної схеми усунення просідаючих властивостей основи в залежності від типу просідання.

Практична значимість. Від прийнятого проектного рішення залежать в значній мірі вартість і матеріаломісткість об'єкта, терміни будівництва, а також його експлуатаційна надійність.

Результати. Раціональні рішення з конструкції основ і фундаментів досягаються на основі сумісного врахування особливостей ґрунтових умов майданчика, закономірностей розвитку просідань, конструкційних особливостей будівель, умов їх експлуатації, наявності можливих джерел замочування.

Ключові слова: просідаючі ґрунти; пальовий фундамент; група граничних станів, будівля.

doi: 10.31721/2306-5435-2021-1-109-41-46

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями. На конструкції будівель і споруд діє комплекс несприятливих факторів, а окремі з них мають вирішальний вплив на їх несучу здатність і довговічність. Передчасне вичерпання їх експлуатаційних якостей і порушення технологічного процесу призводить до значних матеріальних витрат.

При будівництві часто стикаються зі складними інженерно-геологічними умовами (просідаючі, насипні і слабкі водонасичені ґрунти) з впливом агресивного середовища. Внаслідок помилок, допущених на етапах досліджень, проектування, будівництва та експлуатації, термін служби будинків і споруд в ряді випадків значно коротше проектного. Наявність тріщин, локальних руйнувань порушує нормальну експлуатацію будівель. Витрати на відновлювальні роботи найчастіше співрозмірні з вартістю нового будівництва. Все це вимагає більш обґрунтованого підходу до врахування особливих умов при проектуванні і будівництві.

Аналіз досліджень і публікацій. На просідаючих ґрунтах при складних деформаціях основи не завжди можливо використовувати відомі технічні рішення, так як вони непридатні до цих умов роботи. Перші нормативні документи, що регламентують проектування будівель і споруд на просідаючих ґрунтах, з'явилися на початку 30-х років ХХ-го століття. Основна роль в становленні науки про будівництво на просідаючих ґрунтах на цьому етапі належить Ю.М.

Абелеву. Подальший розвиток цього напрямку відбито в працях: М.Н. Гольдштейна, А. А. Григоряна, С.М. Клепікова, В.І. Крутова, А.А. Мустафаєва, З.Г. Тер-Мартіросяна, Я.Д. Гільмана, Н.О. Цитовіча, О.О. Петракова, Р.О. Тімченка, В.Б. Швеця, В.Р. Мустакімова, П.П. Шагіна, С.Г. Кушнера, П.А. Коновалова, А.С. Трегуба, І.О. Розенфельда, І.В. Матвеева, Coduto Donald P., M.J. Tomlinson, Frank R. та ін. [1-10, 14-18]. Дослідження стали основними принципами проектування на просідаючих ґрунтах і послугували їх застосування у діючих нормах [11-13].

Розрахунок міцності та стійкості фундаментних конструкцій стає особливо необхідним і тому актуальним в умовах просідаючих ґрунтів II типу. Усунення шкідливих наслідків просідаючих деформацій під дією маси ґрунту в ґрунтових умовах другого типу з застосуванням різних інженерних заходів і конструктивних рішень або практично не досягається або ж призводить до економічно не вигідного рішення. Тому в цих випадках повинна перевірятися експлуатаційна придатність будівель і споруд та при необхідності призначаються конструктивні або інші заходи відповідно до розрахунку будівель і споруд на вплив очікуваних деформацій основ.

Аналіз досліджень і публікацій показує необхідність вивчення влаштування фундаментів на ґрунтах, що змінили свої властивості в процесі експлуатації, а також розглянути посилення ґрунтів шляхом підвищення їх несучої здатності, застосування фундаментів, здатних сприймати негативні впливи просідання ґрунтів.

Постановка задачі. Розглядається можливість застосування пальових фундаментів на просідаючих ґрунтах, які дозволяють ефективно використовувати непридатні для забудови території.

Викладення матеріалу і результати. В інженерно-геологічних і гідрогеологічних умовах при будівництві використовуються традиційні способи фундування, включаючи:

пальові фундаменти із забивних призматичних паль завдовжки 3-16 м на слабких водонасичених, заболочених, замулених, насипних, просідаючих і інших проблемних ґрунтах;

пальові фундаменти з буронабивних залізобетонних паль довжиною 12-20 м, діаметром від 300 до 1200 мм, що застосовуються в ґрунтах і насипних ґрунтах, на схилах і в умовах обмеженого простору міської забудови. У слабких водонасичених ґрунтах використовуються буронабивні залізобетонні палі в обсадних трубах;

стовпчасті і стрічкові фундаменти малого закладення в збірному і монолітному виконанні під будівлі та споруди, що зводяться на природних основах четвертинних відкладень;

плитні фундаменти з монолітного залізобетону під висотні будівлі.

Аналіз досвіду фундування в геологічних умовах дозволяє запропонувати до застосування нові й ефективні типи фундаментів і сучасні технології, включаючи:

комплексні пальово-плитні фундаменти, які використовуються під висотні будівлі і споруди з великою власною вагою, при тиску на ґрунт основи від 0,3-0,5 МПа до 1,0 МПа;

фундаменти глибокого закладення, що зводяться за методом «стіна в ґрунті», палі або опускних колодязів. При цьому прорізаються відносно слабкі четвертинні відкладення і тиск від важких будівель передається на надійні корінні породи. Вирішується питання підземної урбанізації, ефективно використовується міська територія, підвищується рівень охорони навколишнього середовища;

на майданчиках з поширенням просідаючих і насипних ґрунтів – фундаменти у витрамбованих котлованах;

використання струмінєвої геотехнології при влаштуванні штучних основ і армування ґрунтів цементно-ґрунтовими елементами, як в період до будівництва, так і при посиленні ґрунтів основ під існуючими фундаментами будівель;

для структурно нестійких, різнорідних і перешаровуватих ґрунтів використовується пристрій штучних основ за допомогою заповнюючої, пропитуючої, віджимаючої та розривної ін'єкції ґрунтів під тиском від 5-20 до 300-500 атм.

На лесових ґрунтах II типу умов просідання для житлових, цивільних, промислових будівель з несучими стінами висотою до 9-12 поверхів, а також щодо жорстких каркасних будинків висотою до 6-8 поверхів найбільш раціональним є застосування комплексу заходів, що включає підготовку основи шляхом поверхневого ущільнення ґрунту з метою ліквідації в ґрунтах властивостей його в межах деформованої зони від навантаження фундаментів і створення суцільного маловодопроникного екрану, водозахисні заходи, що виключають можливість замочування

ґрунтів в основі, і конструктивні заходи, що розраховуються на можливі просідання ґрунтів в основі і спрямовані на забезпечення міцності, стійкості і нормальної експлуатації зведених будинків і споруд. Для відносно гнучких, а також будівель підвищеної поверховості при частому розташуванні несучих конструкцій і фундаментів ефективним є глибинне ущільнення просідаючих ґрунтів на всю величину їх посадкової товщі шляхом пробивки свердловин з послідовним заповненням ґрунтовим матеріалом.

Особливість методу глибинного ущільнення полягає в тому, що відповідно до сумарної епюри розподілу по глибині тисків від навантаження фундаментів, власної ваги ґрунту і сил навантаження тертя, що виникають при просіданнях оточуючих ґрунтів, відбуваються такі зміни в лесовому масиві за його глибиною:

в нижній частині ущільненого масиву створюється несучий шар шляхом утрамбовування до відмови в дно пробитої свердловини жорсткого матеріалу (щебеню, шлаку, піщано-гравійної суміші тощо) окремими порціями висотою $0,8-1,2 d$ (d – діаметр снаряду для трамбування);

в середній частині формується зона підвищеної міцності шляхом заповнення свердловин жорстким матеріалом з ущільненням кожної порції, відсипати висотою $1,5-2,0 d$;

у верхній частині створюється щільна зона шляхом заповнення пробитої свердловини місцевим лесовим ґрунтом з ущільненням.

Механізм просідання лесу представлений на рис. 1. Ґрунт зволожується, вода розм'якшує і розчиняє кристалізаційні зв'язки і викликає розклинююче напруження плівкової води. Це знижує міцність зв'язків між частинками, ґрунт під тиском ущільнюється – макропори зменшуються, відбувається вертикальне переміщення.

Лесові ґрунти за проявою просідаючих властивостей діляться на два типи – I та II [3] відповідно за рис. 2а.

При проектуванні фундаментів на лесових породах існує два основних напрямку, особливості яких необхідно враховувати:

Напрямок №1. Виняток неприпустимих осідань при розрахунку фундаментів за II групою граничних станів.

Напрямок №2. Конструктивні заходи щодо виключення (обмеження) осідань.

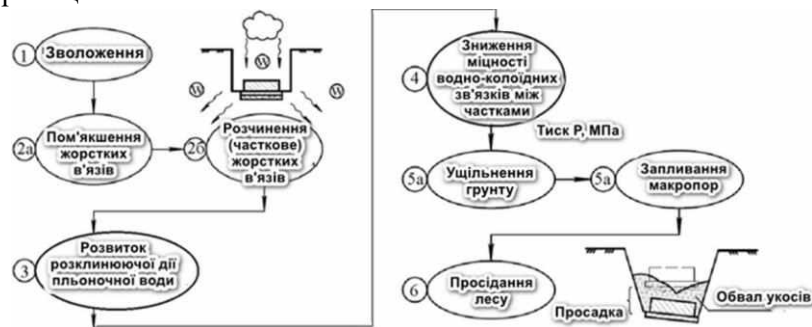


Рис.1. Схема просідання лесового ґрунту

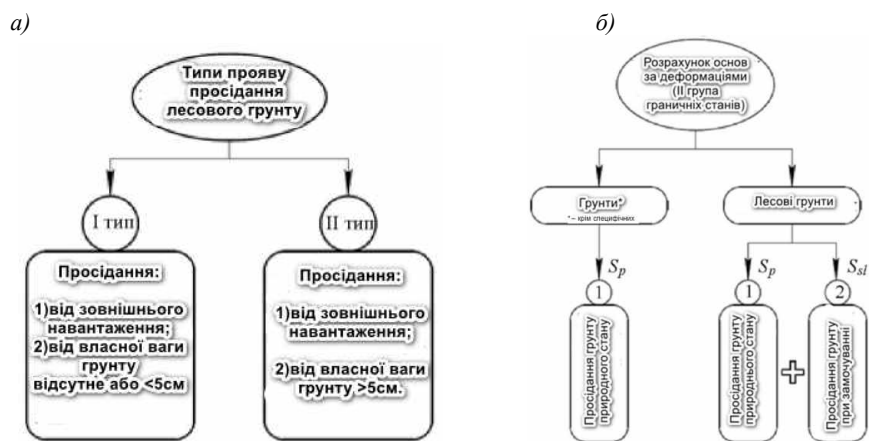


Рис.2. Схеми: а – типів прояву просідання лесового ґрунту; б – розрахунку основ за деформаціями (II група граничних станів)

В рамках першого напрямку проводиться розрахунок основ і фундаментів з урахуванням сумарного просідання ґрунтів природного стану і просідання при впливі вологи. В рамках другого напрямку виключають або зберігають просідаючі властивості основи конструктивними методами [1]. Збереження в ґрунтах властивостей лесу тільки обмежене використання в зв'язку з небезпе-

кою просідань і використовується при належному обґрунтуванні, чим може служити будівництво малоповерхових будівель індивідуальної забудови за вагомої кошторисної вартості заходів, спрямованих на виключення просідання лесу. При цьому необхідно зберігати природний рельєф поряд з будівлею, проектувати вимощення по всьому периметру шириною більше 2 м з ухилом в бік залізобетонних лотків, а під підземними трубопроводами каналізації та водопостачання влаштувати непроникні для води лоточки з відведенням води від просідання товщі.

Розрахунок основ за II групою граничних станів, на відміну від ґрунтів без специфічних властивостей, ведеться з урахуванням просідань S_p ґрунтів природного стану і просідань S_{sl} ґрунтів при замочуванні відповідно до рис. 2б. Розрахунок проводиться з умови не перевищення сумарної деформації допустимого значення – $S = S_p + S_{sl} \leq S_u$.

Важливо відзначити, що норматив встановлює вимогу, відповідно до якого, за умови, що напружень на ґрунт від зовнішнього навантаження і власної ваги не більше початкового просідаючого тиску, а лес за характером прояву просідання відноситься до I типу, розрахунок з урахуванням осідання не проводиться. Причому якщо відносно просідання шарів менше 0,01, то розрахунок також не проводиться.

Для ґрунтів I типу просідання допускається усувати просідання тільки на 2/3 всієї товщі при значенні просідання і її нерівномірності, що не перевищує 1/3 гранично допустимих значень. Це посилює розрахунок і дає запас деформаційних властивостей.

Важливим є напрямок при проектуванні фундаментів на лесових породах – це вибір раціональної конструктивної схеми фундаментів і штучно поліпшених основ. Класичні схеми усунення просідаючих властивостей основи (зменшення) відповідно до навчальної та нормативно-технічної літератури в залежності від типу просідання наведені на рис. 3, 4.

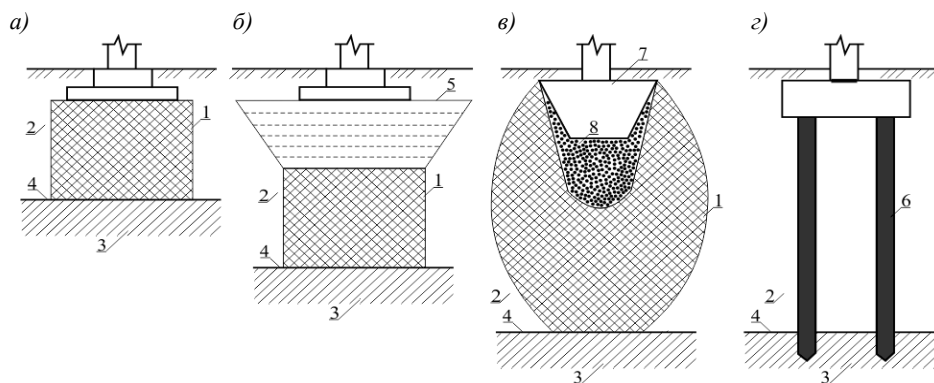


Рис. 3. Різні варіанти влаштування основ і фундаментів в ґрунтових умовах I типу просідання: а – ущільнення ґрунтів за допомогою важких трамбівок після доведення вологості ґрунту до оптимальної; б – ущільнення і устрій подушок з непросідаючих місцевих ґрунтів; в – ущільнення ґрунтів підводними вибухами з використанням попереднього замочування; з – устрій пальових фундаментів з прорізом всієї товщі просідання ґрунтів з метою передачі тиску на непросідаючі підстилаючі шари ґрунту; 1 – ущільнений ґрунт; 2 – просідаючий ґрунт; 3 – непросідаючий ґрунт; 4 – нижня межа просідаючого ґрунту; 5 – ґрунтова подушка, ущільнена пошарово; 6 – палі; 7 – набивний або забивний фундамент, пірамідальна коротка паля; 8 – щєбїнь, який втрамбовано в ґрунт

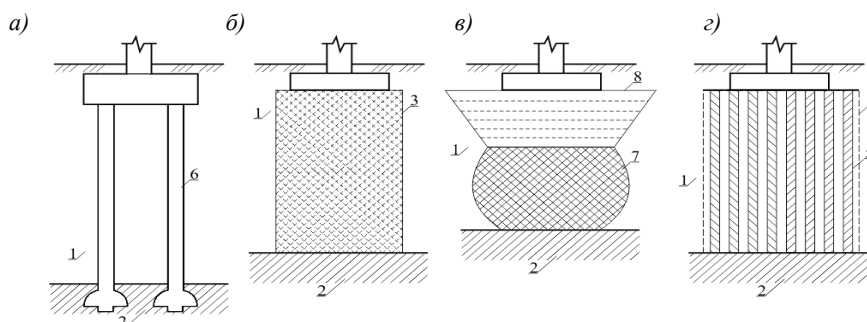


Рис. 4. Різні варіанти влаштування основ і фундаментів в ґрунтових умовах при II типі просідання: а – прорізка просідаючої товщі палями різного типу або глибокими фундаментами; б – закріплення ґрунтів хімічними або термічними способами; в – ущільнення ґрунтів попереднім замочуванням в поєднанні з глибинними вибухами і ущільнення важкими трамбівками; з – ущільнення ґрунтів ґрунтовими палями; 1 – просідаючий ґрунт; 2 – непросідаючий ґрунт; 3 – закріплений ґрунт; 4 – зона ущільнення ґрунтовими палями; 5 – ґрунтові палі; 6 – палі; 7 – ущільнений ґрунт; 8 – ґрунт, ущільнений важкими трамбівками

Розрахунковий опір ґрунту основи визначається в залежності від можливості або неможливості замочування, пояснення коефіцієнтів умов роботи при його визначенні – вони приймаються як для глинистих ґрунтів з відповідним показником плинності.

Коефіцієнт умов роботи з орієнтацією на глинисті ґрунти не випадковий – лес за гранулометричним складом є суглинком.

Висновки та напрямки подальших досліджень. Навіть при ретельному виконанні заходів щодо запобігання замочування лесових ґрунтів вони не гарантовані від місцевого замочування при аваріях трубопроводів або будь-яких інших причин. Тому крім заходів щодо захисту від замочування використовують конструктивні прийоми, що дозволяють знижувати чутливість будівель і споруд до нерівномірних осідань, або усувати несприятливі наслідки нерівномірності осідань. При цьому слід прагнути до запобігання нерівномірних осідань за допомогою закріплення ґрунтів і вживати термінових заходів щодо ліквідації виниклого процесу замочування.

При виборі принципів і методів здійснення щодо забезпечення міцності і нормальної експлуатації будівель і споруд на просідаючих ґрунтах враховують тип ґрунтових умов за просіданням, ймовірність замочування основи на всю величину просідання товщі або її частини, можливу величину осідання, взаємозв'язок проєктованих будівель і споруд з сусідніми об'єктами і комунікаціями на основі, техніко-економічного обґрунтування.

Застосування звичайних пальових фундаментів в ґрунтових умовах України доцільно лише у випадках залягання в основі просідаючої товщі підстилаючих ґрунтів з підвищеною несучою здатністю: пісків великих і середньої крупності, твердих глин або скельних ґрунтів.

Список літератури

1. Крутов В. И., Багдасаров Ю. А. Устройство подземных этажей на просадочных и насыпных грунтах // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2005. – № 5. – С. 22–27.
2. Применение геоинформационных систем в инженерно-геологических изысканиях / Р. О. Тімченко, Д. А. Крішко, С. О. Попов, М. О. Кравченко, Ю. В. Чугай // Зб. наук. ст. "Галузеве машинобудування, будівництво". – Полтава: ПолтНТУ, 2013. – Вип. 3 (38). – Т.2. – С. 359-367.
3. Применение математического моделирования для оценки напряженно-деформированного состояния системы „основание – фундамент – верхнее строение” в сложных инженерно-геологических условиях / Р. О. Тімченко, Д. А. Крішко, С. О. Попов, О. П. Сухан // Зб. наук. ст. "Строительство. Материаловедение. Машиностроение". Серия: Компьютерные системы и информационные технологии в образовании, науке и управлении. – Дн-ск: ПДАБА, 2014. – Вип. 78. – С. 263-269.
4. Тімченко Р. О., Крішко Д. А., Седін В. Л. Розрахунок фундаментів-оболонки для споруд баштового типу на вплив нерівномірних осідань основи // «Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури» – Дн-ск: ПДАБА, 2015. – № 7. – С. 34-40.
5. Математичне моделювання нелінійно-непружних контактних задач / Р. О. Тімченко, Д. А. Крішко, А. В. Богатинський, В. О. Савенко // «Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури» – Дн-ск: ПДАБА, 2015. – № 8. – С. 50-58.
6. Застосування програмного комплексу LIRA 9.6 для моделювання роботи системи «основа – інженерна споруда» / Р. О. Тімченко, Д. А. Крішко, В. О. Савенко, І. В. Хоруженко // Тези доповідей VI Міжнародної науково-практичної конференції «Комп'ютерні системи та інформаційні технології в освіті, науці та управлінні» – Дн-ск: ПДАБА, 2019. – С. 48-49.
7. Швец В. Б., Феклин В. И., Гинзбург А. К. Усиление и реконструкция фундаментов. – М.: Стройиздат, 1985. – 204 с.
8. Coduto Donald P. Foundation Design: Principles and Practices. – New Jersey: Prentice Hall, 2001. – 883 p.
9. Frank R. Some aspects of soil-structure interaction according to Eurocode 7 «Geotechnical design» // Engenharia Civil. – Vol. 25, 2006. – PP. 5–16.
10. Tomlinson, M. J., Boorman R. Foundation design and construction. – Edinburgh: Prentice Hall, 2001. – 583 p.
11. ДБН В.1.1-45:2017. Будівлі і споруди в складних інженерно-геологічних умовах. Загальні положення – К.: Мінрегіонбуд, 2017. – 35 с.
12. ДБН В.2.1-10:2018. Основи і фундаменти будівель та споруд. – К.: Мінрегіонбуд, 2018. – 40 с.
13. ДБН В.2.2-15:2019. Житлові будинки. Основні положення. – К.: Мінрегіонбуд, 2019. – 42 с.
14. Подготовка оснований зданий и сооружений, строящихся на замедленнопросадочных грунтах I и II типа по просадочности / А.Н. Богомолов, Ю.И. Олянский, Л.А. Анисимов, Е.В. Щекочихина, А.Ф. Алексеев // Вестник Волгоград. гос. арх.-строит. ун-та. Строительство и архитектура. – 2015. – № 41 (60). – С. 14–23.
15. Проблемы строительства и эксплуатации зданий на лессовых грунтах Северного Причерноморья / А.Н. Богомолов, Ю.И. Олянский, С.В. Кузнецова, И.Ю. Кузьменко, Е.В. Щекочихина, С.А. Чарыкова // Вестник Волгоград. гос. арх.-строит. ун-та. Строительство и архитектура. – 2016. – № 44-2. – С31-39.
16. Соколов Н.А. Проблема лессов// Соросовский образовательный журнал. – 1996. – №9. – С. 86–93.
17. Lavrusevich A.A., Lavrusevich S.A., Gorshkova O.G. Technogenesis and behavior of the loessial rocks // In book: Proceedings of International Scientific Conf. – Vladivostok: Dalnauka, 2009. – P. 130–131.
18. Пантюшина Е.В. Лессовые грунты и инженерные методы устранения их просадочных свойств// Ползуновский вестник. – 2011. – №1. – С. 127–130

Рукопис подано до редакції 31.03.2021