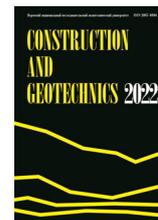




CONSTRUCTION AND GEOTECHNICS

Т. 13, № 1, 2022

<http://vestnik.pstu.ru/arhit/about/inf/>



DOI: 10.15593/2224-9826/2022.1.03

УДК 624.131.23

РАЗРАБОТКА ИННОВАЦИОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ СВАЙНЫХ ФУНДАМЕНТОВ НА ПРОСАДОЧНЫХ ГРУНТАХ

Ф.Г. Габиров

Азербайджанский научно-исследовательский институт строительства и архитектуры, Баку, Азербайджан

О СТАТЬЕ

Получена: 26 ноября 2021
Одобрена: 11 января 2022
Принята к публикации:
03 марта 2022

Ключевые слова:

фундамент, свая, негативное трение, просадка, поверхность, отход, гумбрин, перекачивание, прослойка, грунт, техническое решение, утилизированная автопокрышка, оболочка, спиральный жгут.

АННОТАЦИЯ

Рассмотрены новые технические решения для устранения сил негативного трения при устройстве свайных фундаментов на просадочных грунтах. Силы трения, возникающие между просадочным грунтом и боковой поверхностью сваи, согласно закону Амонта – Кулона и теоретическим обоснованиям Б.В. Дерягина представлены в виде суммы члена, зависящего от сцепления и произведения коэффициента трения на нормальное давление. Находится некоторая функция, аппроксимирующая суммарную силу трения по боковой поверхности сваи. Дифференцируя эту функцию, получаем формулу, определяющую изменение давления грунта на боковую поверхность сваи, изменяющуюся с глубиной расположения сваи в просадочном грунте. Для резкого уменьшения сил негативного трения автором разработана конструкция свайного фундамента, изготовляемого из асбестоцементных труб. Исследования показали, что в этих сваях силы негативного трения уменьшаются на 20–30 % по сравнению с бетонными сваями, изготовленными в заводских условиях. Автором разработаны два варианта метода возведения свайного фундамента на просадочных грунтах, в котором роль антифрикционной смазки выполняет слой из гумбрина. Гумбрин является отходом технологии очистки технических масел. Этот отход в больших количествах накапливается в полигонах нефтеперерабатывающих предприятий. Автором предложена новая конструкция свайного фундамента, в котором в качестве внешней оболочки для снятия сил негативного трения используются утилизированные автопокрышки. Экспериментальные исследования показали, что даже при вертикальных деформациях экрана из автопокрышек более 0,04 м величина осадки сваи оказалась ничтожной, всего 0,02 мм. Автором также разработан свайный фундамент, возводимый на просадочных грунтах. Этот свайный фундамент имеет внешнюю цилиндрическую оболочку. В промежутке между цилиндрической оболочкой и боковой поверхностью сваи располагается спирально-навитой упругий резиновый перекачиваемый жгут. При просадке окружающего грунта внешняя цилиндрическая оболочка перемещается вертикально вниз по перекачиваемому спиральному жгуту, снимая с боковой поверхности сваи негативное трение. Кроме этого, перекачиваемый спиральный упругий жгут также выполняет функцию сейсмоизолятора.

© ПНИПУ

© Габиров Фахрaddin Гасан оглы – кандидат технических наук, профессор, e-mail: farchad@yandex.ru, ORCID: 0000-0001-5927-0847.

Fakhraddin G. Gabibov – Ph. D. in Technical Sciences, Professor, e-mail: farchad@yandex.ru, ORCID: 0000-0001-5927-0847.

DEVELOPMENT OF INNOVATIVE PILE FOUNDATION DESIGNS ON SUBSIDENCE SOILS

F.G. Gabibov

Azerbaijan Research Institute of Construction and Architecture, Baku, Azerbaijan

ARTICLE INFO

Received: 26 November 2021
Approved: 11 January 2022
Accepted for publication:
03 March 2022

Keywords:

foundation, pile, negative friction, subsidence, surface, waste, humbrin, rolling, interlayer, soil, technical solution, recycled tire, shell, spiral harness.

ABSTRACT

New technical solutions for the elimination of negative friction forces in the construction of pile foundations on subsidence soils are considered. The friction forces arising between the subsidence soil and the side surface of the pile, according to the Amonton-Coulomb law and the theoretical justifications of B.V. Deryagin, are presented as the sum of a term depending on adhesion and the product of the coefficient of friction by normal pressure. There is some function approximating the total friction force along the side surface of the pile. Differentiating this function, we obtain a formula that determines the change in soil pressure on the side surface of the pile, which varies with the depth of the pile location in the subsidence soil. To sharply reduce the forces of negative friction, the author has developed the design of a pile foundation made of asbestos cement pipes. Studies have shown that in these piles, the forces of negative friction are reduced by 20–30 %, compared with concrete piles manufactured in factory conditions. The author has developed two variants of the method of building a pile foundation on subsident soils, in which the role of antifriction lubricant is performed by a layer of humbrine. Humbrin is a waste of the technology of purification of technical oils. This waste accumulates in large quantities in the landfills of oil refineries. The author has proposed a new design of a pile foundation, in which recycled tires are used as an outer shell to remove the forces of negative friction. Experimental studies have shown that even with vertical deformations of the tire screen of more than 0.04 m, the amount of pile precipitation turned out to be negligible, only 0.02 mm. The author also developed a pile foundation erected on subsident soils. This pile foundation has an external cylindrical shell. In the gap between the cylindrical shell and the side surface of the pile there is a spiral-wound elastic rubber rolling harness. When the surrounding soil subsides, the outer cylindrical shell moves vertically down the rolling spiral bundle, removing negative friction from the side surface of the pile. In addition, the rolling spiral elastic harness also performs the function of a seismic isolator.

© PNRPU

Введение

Исследованиям свойств лессовых просадочных грунтов посвящены работы В.Т. Трофимова [1], Н.И. Кригера [2], Н.М. Rendell [3], S.Z. Rozycki [4], М. Pecsí [5], J. Sajgalik [6], Wei Lanying, Gui Jiuxi, Lu Yanchon [7], М. Zarate, А. Blasi [8], Ф.Г. Габибова и Л.А. Алиевой [9] и др.

Разработке эффективных методов проектирования и строительства на просадочных лессовых грунтах посвящены работы Ю.М. Абелева и М.Ю. Абелева [10], И.М. Литвинова [11], С.Н. Клепикова, А.С. Трегуб и И.В. Матвеева [12], А.А. Мустафаева [13], С.К. Алиева [14], В.И. Крутова, А.С. Ковалева и В.А. Ковалева [15], В.Т. Трофимова [16], Б.Ф. Галая, В.В. Сербина и О.В. Галая [17], В.С. Шокарева и др. [18], Ф.Г. Габибова [19] и др.

Одним из широко используемых методов строительства сооружений на просадочных лессовых грунтах является их полная прорезка сваями.

Анализ работы свайных фундаментов в просадочных грунтах

На грунтовых площадках с II типом по просадочности в большинстве случаев недостаточно учитывались дополнительные нагрузки, которые передаются на сваи за счет сил

негативного (отрицательного, нагружающего) трения, возникающих при просадках окружающих грунтов от их собственного веса.

Когда выясняется, что действие сил негативного трения на сваи от просадочных деформаций окружающего грунта приведет к недопустимым деформациям фундамента, возникает необходимость разработки конструктивных методов защиты свай от сил негативного трения.

Силы трения по закону Амонтона – Кулона, теоретически обоснованному Б.В. Дерягиным [20], могут быть представлены в виде

$$T = A + fN, \quad (1)$$

где A – постоянный член, зависящий от сцепления; f – коэффициент трения; N – нормальное давление.

Если допустить, что коэффициент трения грунта о поверхность сваи не зависит от глубины h и рассматривать только силы трения при установившемся движении массива относительно сваи, когда сцеплением можно пренебречь, то уравнение (1) примет вид

$$T = fN(h), \quad (2)$$

где $N(h)$ – давление грунта на боковую поверхность сваи, меняющееся с глубиной по неизвестному закону.

Суммарные силы трения по боковой поверхности сваи при принятых допущениях определяются выражением

$$\Sigma T = fS \int_0^h N(h) dh, \quad (3)$$

где $S = \pi D$ – периметр поперечного сечения сваи диаметром D .

Найдем некоторую функцию $F(h)$, аппроксимирующую ΣT . Дифференцируя выражение (3), получим

$$N(h) = \frac{1}{fS} \cdot \frac{dF(h)}{dh}. \quad (4)$$

С учетом шероховатости бетонной сваи сдвиговая прочность определяется по формуле

$$\tau = c + P \operatorname{tg}(\varphi + i), \quad (5)$$

где τ – сдвиговая прочность при негативном трении; c – сила сцепления между грунтом и боковой поверхностью сваи; P – нормальное давление; φ – угол внутреннего трения между грунтом и поверхностью сваи; i – угол шероховатости поверхности сваи.

Разработка новых конструкций и способов изготовления свай для просадочных грунтов

Предложено много конструктивных решений и методов строительства свай на просадочных грунтах, системный анализ и классификация которых изложены автором в работе [16].

Для резкого уменьшения вклада шероховатости в развитие сил негативного трения автором разработана конструкция свайного фундамента, изготавливаемого из асбестоцементных

труб (рис. 1). Согласно нашим исследованиям в деформируемых просадочных грунтах силы негативного трения в сваях, изготовленных из асбестоцементных труб, на 20–30 % меньше, чем в сваях идентичного типоразмера, изготовленных из железобетона в заводских условиях, так как боковая поверхность асбестоцементных труб выполнена значительно глаже.

Предлагается новый метод борьбы с силами негативного трения при просадке грунтов вокруг сваи. В качестве смазочного материала предлагается использование гумбрина. Гумбрин является отходом технологии очистки технических масел. То есть в качестве фильтра для очистки масел используется бентонитовая глина, которая при очистке технических масел адсорбирует на своей поверхности вредные для технического масла органические компоненты. После выполнения этих функций полученный гумбрин выбрасывается в отвалы. Этот отход в больших количествах накапливается в полигонах нефтеперерабатывающих предприятий. Технологии применения гумбрина в качестве смазки свай для снятия сил негативного трения могут быть различными. Первая технология заключается в следующем.

Путем бурения изготавливают лидерную скважину на всю глубину просадочной толщи, диаметр которой равен диаметру сваи (рис. 2).

После этого лидерная скважина заполняется гумбрином путем его засыпки в скважину. Засыпка производится до полного заполнения скважины гумбрином. После этого свая 1 своим острием устанавливается по центру скважины на засыпанный гумбрин и производится забивка или задавливание сваи на глубину, превышающую просадочную толщину 3 до частичного ее внедрения в непросадочный грунт 4. В процессе забивки или задавливания сваи от острия гумбрин 5 радиально отстраняется в стороны, сжимая стенки скважины, которые представлены макропористыми просадочными грунтами. В результате между боковой поверхностью сваи и стенками грунтовой скважины образуется смазочная прослойка из гумбрина.

Для облегчения этой технологии при низкой природной влажности грунтов перед засыпкой гумбрина в лидерную скважину ее заполняют водой до придания прискважинной зоне грунта степени пластической консистенции.

По второй технологии нижняя часть сваи имеет диаметр, чуть превышающий диаметр основной части сваи. Лидерную скважину изготавливают диаметром, равным основной части сваи. После этого сваю забивают или задавливают в лидерную скважину. В результате после забивки или задавливания сваи грунт в стенках скважины перемещается радиально по бокам, и между боковой поверхностью основной части сваи и стенками расширенной скважины образуется свободное пространство, которое сверху заполняют жидким раствором гумбрина.

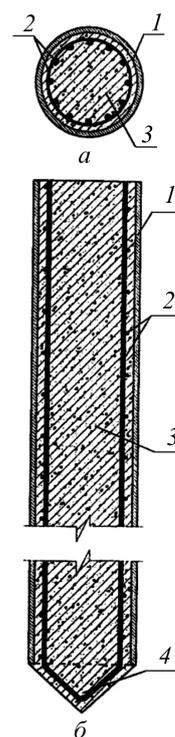


Рис. 1. Свайный фундамент, изготовленный с помощью асбестоцементных труб: а – поперечное сечение; б – продольное сечение; 1 – асбестоцементная труба; 2 – арматура; 3 – бетон; 4 – наконечник сваи

Fig. 1. Piled foundation made with asbestos cement pipes: а – cross-sectional section; б – longitudinal section; 1 – asbestos cement pipe; 2 – reinforcement; 3 – concrete; 4 – pile tip

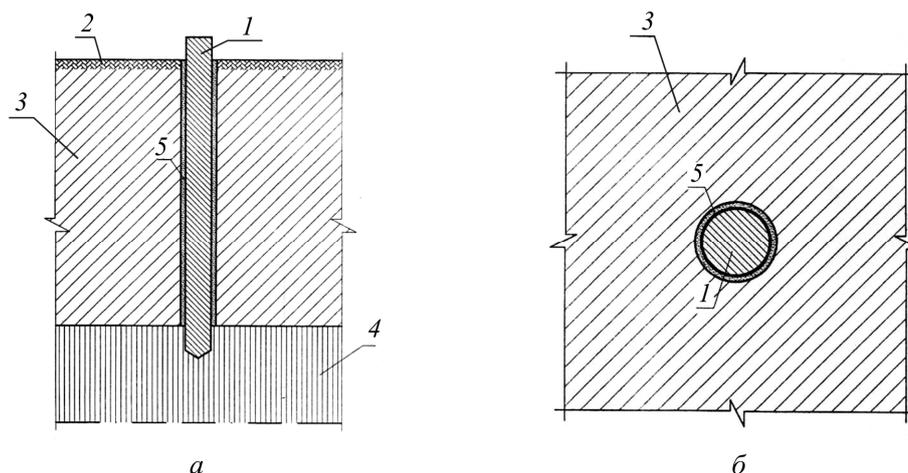


Рис. 2. Свайный фундамент антифрикционным слоем из гумбрина: *a* – продольный разрез; *б* – поперечный разрез; *1* – свая; *2* – поверхность просадочного грунта; *3* – просадочная толща; *4* – непросадочный грунт; *5* – гумбрин

Fig. 2. Pile foundations with an antifriction layer of gumbrin: *a* – longitudinal section; *b* – transverse section; *1* – pile; *2* – subsidence soil surface; *3* – subsidence strata; *4* – non-subsidence soil; *5* – gumbrin

Гумбрин обладает свойством даже при полном высыхании сохранять очень низкую силу сцепления. Таким образом, в любой ситуации при просадке просадочной толщи образующиеся силы негативного трения устраняются за счет разрушения структуры гумбриновой прослойки. Кроме этого, гумбриновая прослойка также выполняет функции защитной прослойки для железобетонных свай при наличии в просадочной толще агрессивных солей.

Автором разработана конструкция свайного фундамента (рис. 3), в котором в качестве оболочки для снятия сил негативного трения используются утилизированные покрышки с металлокордом одинакового типоразмера.

При создании указанной конструкции предполагалось, что образующиеся при просадочных деформациях грунта силы негативного трения не будут воздействовать на боковую поверхность сваи, а будут сжимать эластичную оболочку, состоящую из стопки утилизированных покрышек.

Полученная конструкция при горизонтальных сейсмических нагрузках работает как свая с демпферными эластичными включающе-выключающими связями с изменяющимся модулем упругих деформаций.

Для исследования работоспособности конструкции указанной сваи была разработана экспериментальная установка (рис. 4), состоящая из емкости *1* для грунта *2*, рамы *3* и опор *4*. Модель фрагмента сваи *5* была выполнена из обрезка асбестоцементной трубы диаметром 0,12 м, концы которой были заделаны плоскими металлическими дисками. Вокруг фрагмента сваи укладывалась упругосжимаемая оболочка *б*, образованная из стопки утилизированных покрышек, внешний диаметр которых равен 0,27 м, внутренний их диаметр составляет 0,12 м, ширина покрышек равна 0,07 м.

Для измерения осадки фрагмента сваи *5* на рейке *7* рамы *3* укреплялся индикатор часового типа *8* с ценой деления 0,01 мм. Сжимаемые деформации упругой оболочки *б* определялись при помощи скользящих линеек *9*, укрепленных на рейке *7*. Концы линеек *9* с ценой деления 1,0 мм были прикреплены к поверхности упругой оболочки *б*. Давление негативного трения создавалось на упругую оболочку *б* через опорный диск *10*, к которому через тросы *11* подвешивали гири *12*. Схема нагружения была симметричной. В качест-

ве грунта 2, моделирующего прочное коренное основание сваи, использовался утрамбованный песок 0,2 м слоя. Модель сваи заглублялась в песок на 0,03 м. При определении величины деформации экрана учитывались средние значения между показаниями линеек 9.

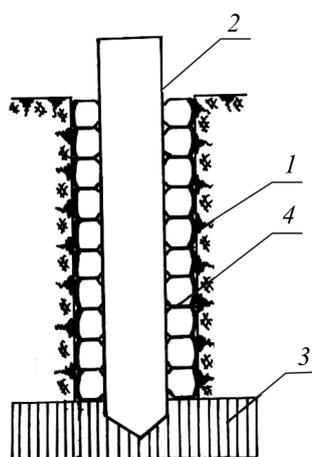


Рис. 3. Свайный фундамент с оболочкой из утилизированных покрышек: 1 – просадочный грунт; 2 – свая; 3 – непросадочный грунт; 4 – утилизированные покрышки

Fig. 3. Pile foundations with recycled tyre casing: 1 – subsidence soil; 2 – pile; 3 – non-subsidence soil; 4 – tiled tyres

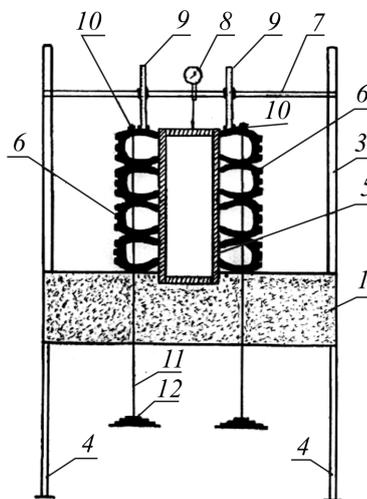


Рис. 4. Экспериментальная установка для исследования влияния негативного трения от просадки грунтового массива на сваю с защитной оболочкой из утилизированных покрышек

Fig. 4. Experimental set-up to investigate the effects of negative ground subsidence friction on a pile with a containment shell of recycled tyres

Как показали экспериментальные исследования, отраженные в таблице, даже при относительных вертикальных деформациях экрана более 0,04 м величина осадки фундамента оказалась практически ничтожной – 0,02 мм. При сжатии покрышек они деформируются (чуть расплющиваются) и минимальное незначительное негативное трение по боковой поверхности сваи все же образуется.

Вертикальные деформации экрана и осадка фундамента

Vertical screen deformations and foundation settlement

Задаваемая нагрузка на поверхность упругой оболочки, кг/см ²	Величина деформации экрана, мм	Величина осадки фрагмента фундамента, мм
0,5	4,5	0
1,0	18,6	0
1,5	23,2	0,01
2,0	31,8	0,01
2,5	38,2	0,02
3,0	42,6	0,02

Экспериментальные исследования показали, что упругие оболочки, образованные из утилизированных покрышек с металлокордом, являются надежным техническим средством для борьбы с силами негативного трения при просадке грунтов.

Разработан свайный фундамент, возводимый на просадочных грунтах 1 (рис. 5), подстилаемых прочным грунтом 2, который включает ростверк, состоящий из верхней 3 и

Выводы

1. Разработана конструкция свай, изготавливаемая из асбестоцементных труб, в которых силы негативного трения, возникающие при просадке окружающего просадочного грунта, на 20–30 % ниже, чем у идентичных железобетонных свай.

2. Предложены два варианта метода возведения свай на просадочных грунтах, в которых роль антифрикционной смазки выполняет слой из гумбрина, являющегося отходом нефтеперерабатывающих заводов.

3. Разработана конструкция свайного фундамента, в котором в качестве оболочки для снятия сил негативного трения используются утилизированные покрышки.

4. Предложена конструкция свайного фундамента с внешней цилиндрической оболочкой, в промежутке которых располагается спирально-навитой упругий перекатывающийся жгут, выполняющий также функцию сейсмоизолятора.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов. Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации.

Библиографический список

1. Трофимов В.Т. Теория формирования просадочных лессовых пород. – М.: ГЕОС, 2003. – 275 с.
2. Кригер Н.И. Лесс. Формирование просадочных свойств. – М.: Наука, 1986. – 132 с.
3. Rendell H.M. Loess deposition during the Late Pleistocene// Geomorphology. – 1989. – N.F.76. – P. 247–255.
4. Rozycki S.Z. Loess and loess-like deposits. – Wroclaw: Polish Academy of Science, 1991. – 187 p.
5. Pecs M. Problems of Loess Chronology// GeoJournal. – 1991. – Vol. 24, B. 2. – P. 143–150.
6. Sajgalik J. Geotechnical Properties of the Danubian Lowland Loess soils in the Slovak Carpathians// GeoJournal. – 1991. – Vol. 24. B.2. – P. 165–174.
7. Wei Lanying, Gui Jiuxi & Lu Yanchou. A preliminary study of the physico-mechanic properties of loesses and paleosols of different age at Weibei Yuan, Shaanxi province. Loess, environment and global change. – Science Press, Beijing, 1991. – P. 245–259.
8. Zarate M. & Blasi A. Late Pleistocene and Holocene Loess Deposits of the South-eastern Buenos Aires province, Argentina// GeoJournal. – 1991. – Vol. 24, № 2. – P. 41–47.
9. Габиров Ф.Г., Алиева Л.А. Экспериментальные исследования зависимости интенсивности деформаций просадочного грунта от интенсивности напряжений при трехосных испытаниях // Світ геотехники (Україна). – 2019. – № 4. – С. 23–26.
10. Абелев Ю.М., Абелев М.Ю. Основы проектирования и строительства на просадочных макропористых грунтах. – М.: Стройиздат, 1979. – 271 с.
11. Литвинов И.М. Укрепление и уплотнение просадочных грунтов в жилищном и промышленном строительстве. – Киев: Будівельник, 1977. – 288 с.
12. Клепиков С.Н., Трегуб А.С., Матвеев И.В. Расчет зданий и сооружений на просадочных грунтах. – Киев: Будівельник, 1987. – 200 с.
13. Мустафаев А.А. Фундаменты на просадочных и набухающих грунтах. – М.: Высшая школа, 1989. – 590 с.

14. Алиев С.К. Земляное полотно автомобильных дорог на лессовых просадочных грунтах. – Баку: ЭЛМ, 2005. – 633 с.
15. Крутов В.И., Ковалев А.С., Ковалев В.А. Проектирование и устройство оснований и фундаментов на просадочных грунтах. – М.: Изд-во АСВ, 2013. – 544 с.
16. Трофимов В.Т. Инженерная геология массивов лессовых грунтов. – М.: КДУ, 2007. – 398 с.
17. Galay B.F., Serbin V.V. & Galay O.B. Disadvantages of standards for construction on collapsible soils // *Proceedings in Earth and geosciences: Geotechnics Fundamentals and Application* [Manqushev R.A. et al. (Eds.)]. – L.: Taylor & Francis Group. – 2019. – Vol. 2. – P. 69–73. DOI: <https://doi.org/10.1201/9780429058882>
18. Оценка состояния просадочного основания проектируемого многоэтажного здания после длительной консолидации от воздействия глубинных гидровзрывов / В.С. Шокарев, Ф.Г. Габибов, А.С. Шокарев, В.И. Посыпайко // *Архитектура и строительство в Азербайджане*. – 2018. – № 4. – С. 22–33.
19. Габибов Ф.Г. Теория и практика улучшения свойств структурно-неустойчивых глинистых грунтов при решении геотехнических и инженерно-геоэкологических проблем. – Баку: ЭЛМ, 2011. – 422 с.
20. Дерягин Б.В. Что такое трение? – М.: Изд-во АН СССР, 1963. – 230 с.

References

1. Trofimov V.T. Teoriia formirovaniia prosadochnyh lessovyh porod [Theory of formation of subsident loess soils]. Moscow, GEOS, 2003, 275 p.
2. Kriger N.I. Less. Formirovaniie prosadochnyh svojstv [Loess. Formation of subsidence properties]. Moscow, Nauka, 1986, 132 p.
3. Rendell H.M. Loess deposition during the Late Pleistocene. *Geomorphology*, 1989, N.F.76, pp. 247-255.
4. Rozycki S.Z. Loess and loess-like deposits. Wroclaw, Polish Academy of Science, 1991, 187 p.
5. Pecs M. Problems of loess chronology, *GeoJournal*, 1991, vol. 24, iss. 2, pp. 143-150.
6. Sajgalik J. Geotechnical Properties of the Danubian Lowland Loess soils in the Slovak Carpathians. *GeoJournal*, 1991, vol. 24, iss. 2, pp. 165-174.
7. Wei Lanying, Gui Jiuxi, Lu Yanchou. A preliminary study of the physico-mechanic properties of loesses and paleosols of different age at Weibei Yuan, Shaanxi province. *Loess, environment and global change*. Science Press, Beijing, 1991, pp. 245-259.
8. Zarate M., Blasi A. Late Pleistocene and holocene loess deposits of the South-eastern Buenos Aires province, Argentina. *GeoJournal*, 1991, vol. 24, iss. 2, pp. 41-47.
9. Gabibov F.G., Alieva L.A. Eksperimental'nye issledovaniia zavisimosti intensivnosti deformatsyi prosadochnogo grunta ot intensivnosti napriazhenii pri trehosnyh ispytaniiah [Experimental studies of the dependence of the intensity of deformations of subsidence soil on the intensity of stresses during triaxial tests]. *Svit geotekhniki* (Ukraine), 2019, no. 4, pp. 23-26.
10. Abelev Y.M., Abelev M.Y. Osnovy proektirovaniia i stroitel'stva na prosadochnyh makroporistykh gruntah [Fundamentals of design and construction on subsident macroporous soils]. Moscow, Strojizdat, 1979, 271 p.
11. Litvinov I.M. Ukreplenie i uplotnenie prosadochnyh gruntov v zhilishnom i promyshlennom stroitel'stve [Strengthening and compaction of subsidence soils in residential and industrial construction]. Kiev, Budivel'nik, 1977, 288 p.

12. Klepikov S.N., Tregub A.S., Matveev I.V. Raschet zdaniy i sooruzheniy na prosadochnykh qrunтах [Calculation of buildings and structures on subsident soil]. Kiev, Budivel'nik, 1987, 200 p.
13. Mustafaeв A.A. Fundamenty na prosadochnykh i nabuhajushih qrunтах [Foundations on subsidence and swelling soils]. Moscow, Vysshaja shkola, 1989, 590 p.
14. Aliev S.K. Zemlenoe polotno avtomobil'nyh doroz na lessovykh prosadochnykh qrunтах [The roadbed of highways on loess subsidence soils]. Baku, ELM, 2005, 633 p.
15. Krutov V.I., Kovalev A.S., Kovalev V.A. Proektirovanie i ustrojstvo osnovanij i fundamentov na prosadochnykh qrunтах. [Design and construction of foundations and foundations on subsident soils]. Moscow, ASV, 2013, 544 p.
16. Trofimov V.T. Inzhenernaia geologija massivov lessovykh gruntov [Engineering geology of loess soil arrays]. Moscow, KDU, 2007, 398 p.
17. Galay B.F., Serbin V.V. & Galay O.B. Disadvantages of standards for construction on collapsible soils. *Proceedings in Earth and geosciences: Geotechnics Fundamentals and Application*. Eds R.A. Manqushev [et al.]. Taylor & Francis Group, London, 2019, vol. 2, pp. 69-73. DOI: <https://doi.org/10.1201/9780429058882>
18. Shokarev V.S., Gabibov F.G., Sokarev A.S., Posypajko V.I. Otsenka sostoiiaia prosadochnogo osnovaniia proektiryemogo mnogoetazhnogo zdaniia posle dlitel'noj konsolidatsii ot vozdejstia glubinykh gidrovzryvov [Assessment of the condition of the subsidence base of the projected multi-storey building after prolonged consolidation from the effects of deep hydraulic explosions]. *Arhitektura i stroitel'stvo v Azerbajdzhane*, 2018, no. 4, pp. 22-33.
19. Gabibov F.G. Teoriia i praktika uluchsheniia svojstv strukturno-neustojchivykh glinistykh gruntov pri reshenii geotekhnicheskikh i inzhenerno-geoekologicheskikh problem [Theory and practice of improving the properties of structurally unstable clay soils in solving geotechnical and geoecological engineering problems]. Baku, ELM, 2011, 422 p.
20. Deriagin B.V. Chto takoe trenie? [What is friction?]. Moscow, Izdatel'stvo AN SSSR, 1963, 230 p.