

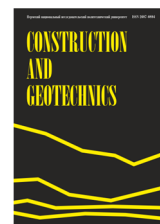


пермский
политех

CONSTRUCTION AND GEOTECHNICS

Т. 16, № 3, 2025

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



DOI: 10.15593/2224-9826/2025.3.01

УДК 624.154.5

ОДОМЕТР ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СПОСОБОВ ЗАКРЕПЛЕНИЯ ТОРФА

Г.Ю. Ивахнова, А.С. Тутыгин, А.Л. Невзоров

Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова,
Архангельск, Российская Федерация

О СТАТЬЕ

Получена: 23 июня 2025
Одобрена: 29 августа 2025
Принята к публикации:
10 сентября 2025

Ключевые слова:

торф, одометр, осадка, вторичная консолидация, бентонит, закрепление грунта.

АННОТАЦИЯ

Представлен новый компрессионный прибор, позволяющий исследовать сжимаемость торфа и способы его закрепления в основании насыпи. Рабочее кольцо прибора имеет увеличенные по сравнению обычными одометрами размеры: диаметр 14,8 см, высоту 7,0 см. Удаление из образца поровой влаги происходит только в одном направлении – через перфорированный штамп. В ходе испытаний, например, на стадии вторичной консолидации, специальными винтами ограничивают подъем штампа, прибор извлекают из нагрузочной рамы и переворачивают. Поочередно выкручивают пробки из отверстий в днище и внедряют в образец торфа вещество-стабилизатор через все или часть отверстий, расположенных симметрично друг относительно друга. После чего одометр возвращают в нагрузочную раму и продолжают измерение деформаций. Благодаря исключению даже временной разгрузки и разуплотнения повышаются точность и достоверность прогноза деформаций слоя торфа в основании насыпи после закрепления.

Исследованный торф имел следующие свойства: плотность 0,98–1,02 г/см³, влажность 770–920 %, коэффициент пористости 11,8–14,2, степень разложения 40–45 %. Для стабилизации осадки использовали бентонит, сорбирующий влагу из микропор торфа и вызывающий его деформации за счет набухания. Начальная влажность бентонита составляла 6 %, деформации свободного набухания достигали 95 %, а влажность набухания 138 %. Испытания показали, что внедрение бентонита в количестве 10 % от объема образца позволяет стабилизировать деформации торфа, а добавка в бентонит цемента предотвращает развитие осадки даже при значительном увеличении нагрузки от насыпи после закрепления.

© Ивахнова Галина Юрьевна – аспирант; e-mail: g.zinovjeva@narfu.ru, ORCID: 0009-0004-9218-8537

Тутыгин Александр Сергеевич – доцент; e-mail: a.tutygin@narfu.ru.

Невзоров Александр Леонидович – доктор технических наук, профессор, e-mail: a.l.nevzorov@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-6547-2741.

Galina Yu. Ivakhnova – Postgraduate Student; e-mail: g.zinovjeva@narfu.ru, ORCID: 0009-0004-9218-8537

Alexander S. Tutugin – Assistant Professor; e-mail: a.tutygin@narfu.ru.

Alexander L. Nevzorov – Doctor of Technical Sciences, Professor, e-mail: a.l.nevzorov@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-6547-2741.



Эта статья доступна в соответствии с условиями лицензии Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0)

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0)

OEDOMETER TO STUDY OF PEAT STABILIZATION TECHNIQUES

G.Yu. Ivakhnova, A.S. Tutygin, A.L. Nevzorov

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov (NArFU),
Arkhangelsk, Russian Federation

ARTICLE INFO

Received: 23 June 2025
Approved: 29 August 2025
Accepted for publication:
10 September 2025

Keywords:

peat, oedometer, settlement,
secondary consolidation,
bentonite, ground stabilization.

ABSTRACT

This paper presents a new oedometer to study of peat compressibility and techniques of its stabilization under embankment. The dimensions of oedometer's ring are more than in traditional one: diameter 14.8 cm, height 7.0 cm. The pore water is escaped from a sample only through a perforated loading plate. During testing, for example at the secondary consolidation stage, a plate is fixed by special screws and the oedometer is removed from loading frame and turned over. The plugs are unscrewed from the holes located in the device bottom and a stabilization substance is embedded into peat sample through all or part of the holes located symmetrically relative to each other. After that the oedometer is returned to loading frame and deformation measurement is continued. Due to the elimination of even temporary peat unloading and expansion the oedometer is allowed to make more accurate and reliable prediction of deformations after embedding a stabilizer into peat layer under embankment.

The studied peat had the following properties: density 0.98–1.02 g/cm³, water content 770–920%, void ratio 11.8–14.2, decomposition degree 40–45%. Bentonite which sorbs water from micropores of peat in terms of swelling process was used as the stabilizer substance. The initial water content of bentonite was equal 6 %, free swell was reached 95 %, water content after swelling 138 %. The test results showed that embedding of bentonite in an amount of 10 % of the sample volume makes it possible to stabilize deformation of peat. The addition of cement to bentonite prevents the development of settlement with a significant increase in the load from the embankment after stabilization.

Введение

На низинных заболоченных территориях северо-запада России, где мощность отложений торфа достигает 6 м и более, инженерная подготовка участков для строительства выполняется, как правило, методом пригрузки, который заключается в отсыпке или гидронамыве на поверхность торфяной залежи слоя песка и даже песчано-гравийной смеси толщиной несколько метров [1; 2]. Недостатком метода являются незатухающие в течение десятилетий деформации торфа. Наблюдения на опытном полигоне и в жилой застройке г. Архангельска показывают, что первичная или фильтрационная консолидация торфа завершается через 3–5 лет после укладки слоя песка, а причиной столь длительного развития осадок служит вторичная консолидация торфа [1; 3]. Считается, что этот процесс обусловлен медленной миграцией связанной влаги из микропор и последующим смятием растительных остатков и продуктов их разложения [4–8]. Хотя некоторые авторы при расчете осадки придерживаются принципа несжимаемости растительного скелета торфа [9].

Различными авторами было предложено несколько в той или иной степени применимых для стадии вторичной консолидации способов стабилизации деформаций этого органического грунта. Среди них – закрепление торфа цементом [10–12], известью [12–14] и даже полимерами [15], устройство в нем частично воспринимающих нагрузку от насыпи так называемых грунтовых свай, например, из песка [16], щебня [17], шлаков, золы [16; 18], известняка [19], в том числе армированных геосинтетиками [20], а также из смесей указанных грунтовых материалов с вяжущими [21] и продуктов переработки строительных материалов [22]. Нами предложено использовать для этой цели высокодисперсную глину,

сорбирующую поровую влагу и вызывающую по мере набухания деформирование вмещающего торфа [3; 23].

Исследования способов стабилизации деформаций начинают обычно с лабораторных экспериментов в одометрах. Их методика заключается в следующем. После этапа предварительной консолидации нагрузку на образцы временно снимают, поднимают штамп, закрепляют торф вяжущим или устраивают в нем включения из минерального грунта, возвращают штамп на поверхность образца и снова прикладывают нагрузку. На рис. 1 представлены результаты двух экспериментов, проведенных по рассмотренной методике [23]. Образцы торфа имели следующие свойства: плотность 0,97–1,02 г/см³, влажность 833–991 %, коэффициент пористости 12,6–15,3, степень разложения 40–45 %. Высота образцов составляла 7 см, диаметр – 8,7 см, нагрузка – 50 кПа. В качестве высокодисперсной глины использовали бентонит с исходной влажностью 6 %, влажностью на границе текучести 147 %, влажностью на границе раскатывания 65 %, деформации свободного набухания достигали 95 %, а влажность набухания – 138 %.

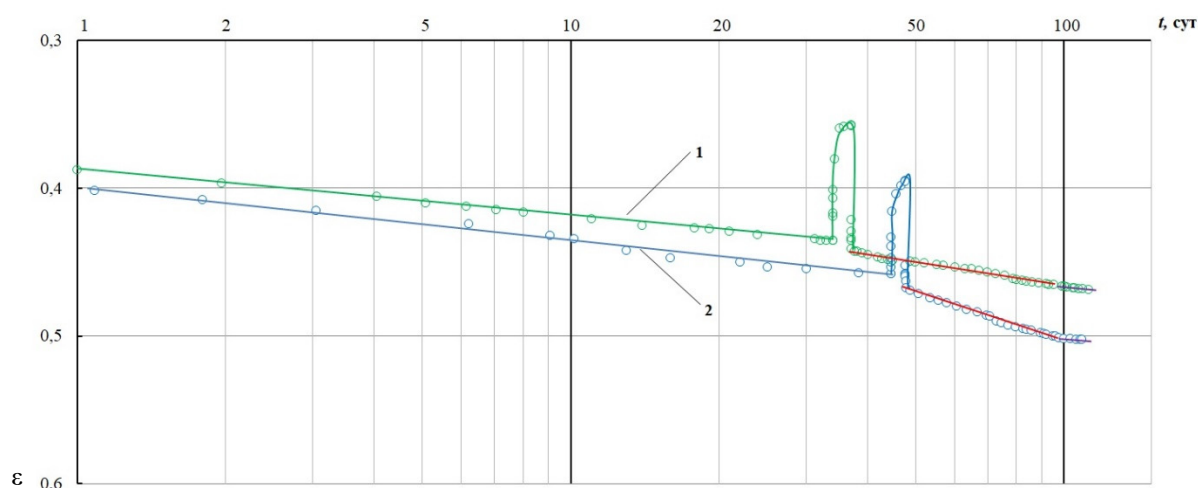


Рис. 1. Графики $\varepsilon = f(\lg t)$ по результатам испытаний образцов торфа по общепринятой методике

Fig. 1. $\varepsilon = f(\lg t)$ plots for a peat samples with a bentonite inclusions tested by common method

На первом этапе испытаний, продолжавшемся более 30 суток, получены следующие значения коэффициента вторичной консолидации c_{ae} двух образцов: 0,032 и 0,034. Их разгрузка привела к разуплотнению на 12...23 % от достигнутой осадки. По технологии изготовления набивных свай на всю высоту образцов были устроены вертикальные элементы из бентонита диаметром 8 мм с суммарной площадью поперечного сечения, равной 10 % от площади поперечного сечения образцов.

В течение 1,5 суток после повторного приложения нагрузки наблюдалось быстрое развитие деформаций, затем зависимости $\varepsilon = f(\lg t)$ стали линейными. Коэффициенты вторичной консолидации на этом этапе испытаний оказались существенно больше исходных значений – 0,055 и 0,138. Это явление можно объяснить интенсивной сорбцией влаги бентонитом и предшествовавшим разуплотнением образцов, определенный вклад могло внести нарушение структуры торфа за счет формирования выпоров при внедрении бентонита. После этапа интенсивного деформирования темп вторичной консолидации замедлился и c_{ae} достиг значений в 1,3–1,5 раза меньше исходных – 0,023 и 0,025.

Влажность торфа по окончании опытов составила 450-470 %, влажность бентонита возросла до 95–98 %. В контрольных опытах при отсутствии включений влажность торфа при завершении опытов составляла в среднем 570 %.

Рассмотренная методика компрессионных испытаний моделирует весьма редко применяемую на практике технологию с временным удалением насыпи. Более эффективным является выполнение указанных работ через пригрузочный слой песка.

Методика эксперимента и теоретические подходы

Авторами создан компрессионный прибор, позволяющий проводить испытания способов стабилизации осадки торфа без временного снятия нагрузки и разуплотнения образца. Его конструкция показана на рис. 2, фотографии – на рис. 3.

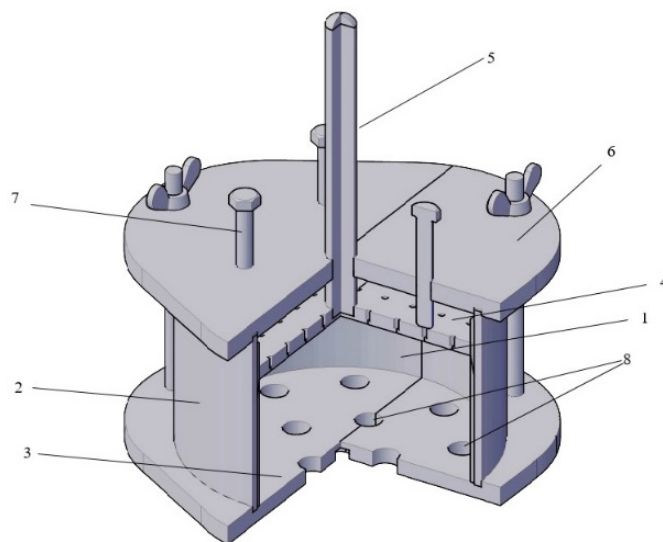


Рис. 2. Конструкция компрессионного прибора: 1 – тонкостенное рабочее кольцо, 2 – корпус, 3 – днище, 4 – штамп, 5 – шток, 6 – крышка, 7 – винт-ограничитель, 8 – отверстия с пробками

Fig. 2. Oedometer design: 1 – thin-wall ring, 2 – case, 3 – base, 4 – loading plate, 5 – loading rod, 6 – cap, 7 – trust screw, 8 – holes with plugs



Рис. 3. Компрессионный прибор: *a* – общий вид, *b* – детали прибора

Fig. 3. Oedometer: *a* – general view, *b* – components

Прибор обладает следующими особенностями. Рабочее кольцо 1 имеет увеличенные по сравнению обычными одометрами размеры: диаметр 14,8 см, высоту 7 см, что позволяет уменьшить влияние на результаты сил трения между образцом и внутренней поверхностью кольца. Дренаживание образца происходит только через перфорированный штамп 4. Через днище 3 удаление поровой влаги не предусмотрено, что отражает особенности инженерно-геологических условий района исследований, где слой торфа подстилается озерно-ледниковыми или ледниковыми глинистыми грунтами. Винты 7 в крышке прибора предотвращают подъем штампа при снятии нагрузки. Для внедрения в образец вещества-стабилизатора в днище прибора устроены отверстия 8 с пробками.

В ходе испытаний в заданный момент времени, например, на этапе вторичной консолидации, винты 7 приводят в контакт со штампом 4 и снимают нагрузку со штока 5. Прибор поднимают со станины, переворачивают и, поочередно выкручивая пробки из всех или части симметрично расположенных отверстий 8, внедряют в образец необходимое количество вещества-стабилизатора. После чего прибор возвращают в нагрузочную раму и прикладывают прежнюю нагрузку.

В наших опытах в качестве вещества-стабилизатора использовали бентонит, свойства которого приведены выше. Внедрение глины в торф, как и в первой серии опытов, выполняли по технологии изготовления набивных свай, было прежним и соотношение объемов бентонита и торфа – 1:10.

Свойства испытанных в рассматриваемом приборе образцов практически совпадали со свойствами образцов, испытанных в обычном одометре: плотность 0,98–1,02 г/см³, влажность 770–920 %, коэффициент пористости 11,8–14,2, степень разложения 40–45 %. Нагрузка на образцы также была 50 кПа.

Результаты

Графики зависимости относительных деформаций трех образцов от времени представлены на рис. 4.

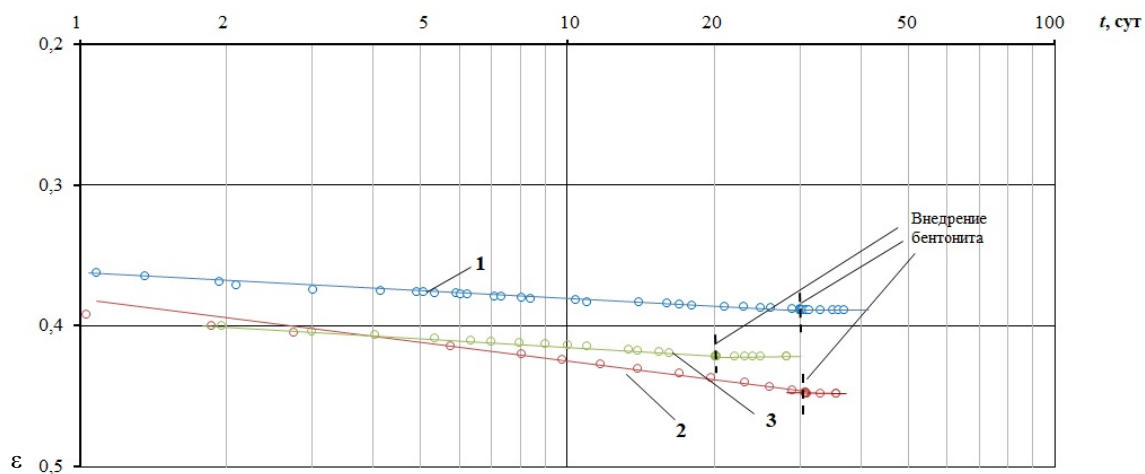


Рис. 4. Графики $\varepsilon = f(\lg t)$ по результатам испытаний образцов торфа по предложенной методике

Fig. 4. $\varepsilon = f(\lg t)$ plots for a peat samples with a bentonite inclusions tested by suggested method

Коэффициент вторичной консолидации $c_{\alpha\epsilon}$ изменялся в пределах от 0,023 до 0,033 и в среднем составил 0,028, что весьма близко к ранее полученным значениям. После устройства включений из бентонита деформации торфа под прежней нагрузкой 50 кПа практически прекратились. Влажность торфа по окончании опытов вблизи включений бентонита составила 334–346 %, а на периферии образцов – 384–408 %. Влажность бентонита возросла до 63–67 %.

В результате двукратного увеличения нагрузки – с 50 до 100 кПа – прирост относительных деформаций образцов с включениями бентонита составил $\Delta\epsilon = \Delta h/h_0 = 0,05...0,06$. Заметим, что относительные деформации образцов торфа без включений бентонита в том же интервале напряжений увеличивались в среднем на 0,12.

Эксперименты показали, что в тех случаях, когда предполагается существенное увеличение высоты насыпи, для стабилизации деформаций торфа следует применять включения из смеси бентонита с цементом. В частности, добавка 16–20 % цемента к бентониту позволила снизить прирост относительных деформаций образцов при росте нагрузки от 50 до 100 кПа до 0,02...0,03.

Обсуждение

Проведенные лабораторные исследования по стабилизации деформаций торфа показали, что получаемые результаты экспериментов во многом зависят от методики испытаний. Торф даже на стадии вторичной консолидации после пребывания под нагрузкой 50 кПа более 30 суток обладает упругими свойствами. Разуплотнение образцов после снятия нагрузки достигает 12...23 % от достигнутой осадки, благодаря чему при повторном приложении нагрузки наблюдаются значительные деформации образцов.

Методика лабораторных испытаний должна как можно точнее моделировать производственные процессы, в частности выполнение работ по стабилизации деформаций этого органического грунта без снятия нагрузки и разуплотнения, то есть через пригрузочный слой песка. Созданный авторами компрессионный прибор позволяет проводить такие испытания.

Испытания показали, что внедрение высокодисперсной глины в количестве 10 % от объема торфа за счет сорбции влаги из микропор и набухания позволяет снизить темп вторичной консолидации. В тех случаях, когда предполагается существенное увеличение высоты насыпи, для стабилизации деформаций торфа следует применять смесь бентонита с цементом.

Выводы

1. Вновь созданный компрессионный прибор позволяет проводить испытания по стабилизации деформаций торфа в основании насыпей путем устройства включений из минеральных материалов, а также путем закрепления вяжущими.

2. Для стабилизации деформаций торфа на стадии вторичной консолидации может применяться высокодисперсная глина, сорбирующая влагу из микропор и вызывающая деформации вмещающего торфа за счет набухания, или ее смесь с цементом.

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. Tyurin, D.A. Numerical simulation of long-term peat settlement under the sand embankment / D.A. Tyurin, A.L. Nevzorov // 1st International Conference on the material point method. Procedia engineering. – 2017. – Vol. 175. – P. 51–56.
2. Димухаметов, М.Ш. Физико-механические свойства заторфованных грунтов Камской долины г. Перми и их изменение в результате действия пригрузки / М.Ш. Димухаметов, Д.М. Димухаметов // Вестник Пермского университета. Геология. – 2009. – №11(37). – С. 94–107.
3. Ivakhnova, G.Yu. The acceleration of the peat secondary consolidation due to the sorption of bound water with disperse clay / G.Yu. Ivakhnova, A.L. Nevzorov // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – Vol. 945. – 012051. DOI: 10.1088/1757-899X/945/1/012051.
4. Амарян, Л.С. Свойства слабых грунтов и методы их изучения / Л.С. Амарян. – М.: Недра, 1999. – 220 с.
5. Gofar, N. Long-term compression behavior of fibrous peat / N. Gofar, Y. Sutejo // Malaysian J. of Civil Eng. – 2007. – № 19. – P. 104–116.
6. Kogure, K. Physical and pore properties of fibrous peat deposit / K. Kogure, H. Yamaguchi, T. Shogaki // Proceedings of the 11th Southeast Asian Geotechnical Conference, Singapore, 1993. – P. 135–139.
7. Wong, L.S. A review on hydraulic conductivity and compressibility of peat / L.S. Wong, R. Hashim, F.H. Ali // Journal of Applied Sciences. – 2009. – № 9 (18). – P. 3207–3218.
8. Zhang, L. Effect of salt grain additions on fibrous peat consolidation / L. Zhang, B.C. O’Kelly // Proceeding of the institution of civil engineers. – 2015 – № 168. – P. 14–21.
9. Носков, И.В. Исследования компрессионных свойств торфа как материала для устройства оснований зданий и сооружений на заболоченных территориях / И.В. Носков, С.А. Ананьев, М.А. Осипова // Вестник Евразийской науки. – 2021. – №2 (13).
10. A study of the compressibility behavior of peat stabilized by DMM: Lab Model and FE analysis / B.B.K. Huat, S. Kazemian, A. Prasad, M. Barghchi // Scientific Research and Essays. – 2011. – Vol. 6, iss. 1. – P. 196–204.
11. Hashim, R. Properties of stabilized peat by soil-cement column method / R. Hashim, M.S. Islam // Electronic Journal of Geotechnical Engineering. – 2008. – №13. – P. 1–9.
12. Nadhirah, M.Z. Peat Soil Stabilization using Lime and Cement / M.Z. Nadhirah, Md.G. Zuhayr // E3S Web of Conferences, 34. – 2018. DOI: 10.1051/e3sconf/20183401034.
13. Kalantari, B. Load-Bearing capacity improvement for peat soil / B. Kalantari, B.B.K. Huat // European Journal of Scientific Research. – 2009. – Vol. 32, no. 2. – P. 252–259.
14. Islam, S. Stabilization of peat by deep mixing method: a critical review of the state of practices / S. Islam, R. Hashim // Electronic Journal of Geotechnical Engineering. – 2008. – Vol. 13.
15. A state-of-the-art review of polymers used in soil stabilization / H.J. Jianxin, R.B. Kogbara, N. Hariharan, E.A. Masad, D.N. Little // Construction and Building Materials. – 2021 – Vol. 305. – 124685. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2021.124685.
16. Venuja, S. Geotechnical engineering properties of peat, stabilized with a combination of fly ash and well graded sand / S. Venuja, S. Mathiluxsan, M.C. Nasvi // Engineer: Journal of the Institution of Engineers. – 2017. – Vol. 50, iss. 2. – P. 21. DOI: 10.4038/engineer.v50i2.7249.
17. Borthakur, N. Stabilization of peat soil using locally available admixture / N. Borthakur, M.S. Sindh // International Journal of Advances in Computer Science & Its Applications. – 2014. – Vol. 4, iss. 4. – P. 227–231.

18. Kolay, P.K. Peat stabilization using gypsum and fly ash / P.K. Kolay, M.P. Pui // *Journal of Civil Engineering, Science and Technology*. – 2010. – Vol. 1, iss. 2. – P. 1–5. DOI: 10.33736/jcest.75.2010.
19. Abdel-Salam, A.E. Stabilization of peat soil using locally admixture / A.E. Abdel-Salam // *HBRC Journal*. – 2018. – Vol. 14, iss. 3. – P. 294–299. DOI: 10.1016/j.hbrcj.2016.11.004.
20. Шенкман, Р.И. Метод расчета осадок фундаментов на основании, улучшенном с использованием вертикальных грунтовых элементов в оболочке из геосинтетических материалов / Р.И. Шенкман, А.Б. Пономарев // *Construction and Geotechnics*. – 2020. – Т. 11, № 3. – С. 64–76. DOI: 10.15593/2224-9826/2020.3.06.
21. Wong, L.S. A review of experimental investigations of peat stabilization / L.S. Wong, R. Hashim, F.H. Ali // *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*. – 2009. – Vol. 3(4). – P. 3537–3552.
22. Stabilization of road embankment on peat soils using oil shale ash and pozzolanic additives / V. Pallay, T. Teppand, A. Leinpuu, M. Shanskiy, M. Mets, H. Maendar, E. Rikmann, J. Liiv // *Appl. Sci*. – 2023. – Vol. 13. – 8366. DOI: 10.3390/app13148366/
23. Ивахнова, Г.Ю. Воздействие на ход вторичной консолидации торфа путем его дегидратации с помощью высокодисперсной глины / Г.Ю. Ивахнова, А.Л. Невзоров // *Вестник МГСУ*. – 2023. – Т.18, вып. 2. – С. 218–229. DOI:10.22227/1997-0935.2023.2.218-229.

References

1. Tyurin D.A., Nevzorov A.L. Numerical simulation of long-term peat settlement under the sand embankment. *1st International conference on the material point method. Procedia engineering*, 2017, vol. 175, pp.51-56.
2. Dimuhametov M. S., Dimuhametov D. M. Fiziko mehanicheskie svoystva-zatorfovannykh gruntov kamskoy doliny g permi i ih izmenenie v rezultate deystviya prigruzki [Physico-mechanical properties of the peaty soils of the Kama valley of Perm city and their changes as a result of loading action]. *Vestnik Permskogo universiteta. Geologiya*, 2009, no. 11(37), pp. 94-107.
3. Ivakhnova G.Yu., Nevzorov A.L. The acceleration of the peat secondary consolidation due to the sorption of bound water with disperse clay. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 2020, vol. 945. – 012051. DOI: 10.1088/1757-899X/945/1/012051.
4. Amaryan L.S. Svoystva slabykh gruntov i metody ih izucheniya [Properties of soft soils and methods for their study]. Moscow, Nedra, 1999, 220 p.
5. Gofar N., Sutejo Y. Long-term compression behavior of fibrous peat. *Malaysian J. of Civil Eng.*, 2007, no.19, pp. 104-116.
6. Kogure K., Yamaguchi H., Shogaki T. Physical and pore properties of fibrous peat deposit. *Proceedings of the 11th Southeast Asian Geotechnical Conference, Singapore*, 1993, pp. 135-139.
7. Wong L.S., Hashim R., Ali F.H. A review on hydraulic conductivity and compressibility of peat. *Journal of Applied Sciences*, 2009, no. 9 (18), pp. 3207-3218.
8. Zhang L., O'Kelly, B.C. Effect of salt grain additions on fibrous peat consolidation. *Proceeding of the institution of civil engineers*, 2015, no.168, pp. 14-21.
9. Noskov I.V., Ananyev S.A., Osipova M.A. Issledovaniya kompressionnykh svoystv torfa kak materiala dlya ustroystva osnovaniy zdaniy i sooruzheniy na zabolochennykh territoriyakh [Research of compression properties of peat as material for arrangement of bases of buildings and structures in wetlands]. *The Eurasian Scientific Journal*, 2021, no. 2(13).

10. Huat B.B.K., Kazemian S., Prasad A., Barghchi M. A study of the compressibility behavior of peat stabilized by DMM: Lab Model and FE analysis. *Scientific Research and Essays*, 2011, vol. 6, iss. 1, pp. 196-204
11. Hashim R., Islam, M.S. Properties of stabilized peat by soil-cement column method. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 2008, no. 13, pp. 1-9.
12. Nadhirah M. Z., Zuhayr Md. G. Peat Soil Stabilization using Lime and Cement. *E3S Web of Conferences*, 34, 2018. DOI: 10.1051/e3sconf/20183401034
13. Kalantari B., Huat B.B.K. Load-Bearing capacity improvement for peat soil. *European Journal of Scientific Research*, 2009, vol.32, no.2, pp. 252-259
14. Islam S., Hashim R. Stabilization of peat by deep mixing method: a critical review of the state of practices. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 13 H.- 2008. ISSN 10893032
15. Jianxin H.J., Kogbara R.B., Hariharan N., Masad E.A., Little D. N. A state-of-the-art review of polymers used in soil stabilization. *Construction and Building Materials*, 2021, vol. 305, 124685, ISSN 0950-0618. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2021.124685.
16. Venuja S., Mathiluxsan S., Nasvi M.C. Geotechnical engineering properties of peat, stabilized with a combination of fly ash and well graded sand. *Journal of the Institution of Engineers*, 2017, vol. 50, iss. 2, pp. 21. DOI: 10.4038/engineer.v50i2.7249.
17. Borthakur N., Sindh M.S. Stabilization of peat soil using locally available admixture. *International Journal of Advances in Computer Science & Its Applications*, 2014, vol. 4, iss. 4, pp. 227-231.
18. Kolay P.K., Pui M.P. Peat stabilization using gypsum and fly ash. *Journal of Civil Engineering, Science and Technology*, 2010, vol.1, iss. 2, pp. 1–5. DOI: 10.33736/jcest.75.2010.
19. Abdel-Salam A.E. Stabilization of peat soil using locally admixture. *HBRC Journal*, 2018, vol.14, iss. 3, pp. 294–299. DOI: 10.1016/j.hbrej.2016.11.004.
20. Shenkman R.I., Ponomaryov A.B. Metod rascheta osadok fundamentov na osnovanii, uluchshennom s ispol'zovaniyem vertikal'nykh gruntovykh elementov v obolochke iz geosinteticheskikh materialov [Calculation of vertical deformations of the foundations on the soft soil improved by geotextile encased stone columns]. *Construction and Geotechnics*, 2020, vol. 11, no. 3, pp. 64-76. DOI: 10.15593/2224-9826/2020.3.06.
21. Wong L.S., Hashim R., Ali F.H. A review of experimental investigations of peat stabilization. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 2009, vol. 3(4), pp. 3537-3552.
22. Pallav V., Teppand T., Leinpuu A., Shanskiy M., Mets M, Maendar H, Rikmann E.; Liiv J. Stabilization of road embankmentson peat soils using oil shale ash and pozzolanic additives. *Appl. Sci.*, 2023, vol. 13, 8366. DOI: 10.3390/app13148366.
23. Ivakhnova G.Yu., Nevzorov A.L. Vozdeystviye na khod vtorichnoy konsolidatsii torfa putem yego degidratatsii s pomoshch'yu vysokodispersnoy gliny [Effect of clay with high water adsorption capacity on process of secondary consolidation of peat]. *Vestnik MGSU*, 2023, vol. 18, iss. 2, pp. 218-229. DOI:10.22227/1997-0935.2023.2.218-229