

УДК 624.131

Глебова Юлия Михайловна

аспирантка кафедры Инженерной геологии оснований и фундаментов, Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, 163065 г. Архангельск, пр. Московский, д.45
e-mail: glebovaulia@yandex.ru

Носырев Виктор Вадимович

студент бакалавриата, Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова
e-mail: nosyrev.vitya@yandex.ru

ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИЛОВ ДЕЛЬТЫ Р. СЕВЕРНОЙ ДВИНЫ, СТАБИЛИЗИРОВАННЫХ ЦЕМЕНТНЫМ РАСТВОРОМ

Аннотация:

Представлены результаты исследований прочностных характеристик ила, закрепленного цементном. Ил отбирался с глубины 10,6 – 10,8 м на объекте строительства, расположенном на островной территории в дельте р. Северной Двины, где толща черного ила мощностью до 7 м перекрыта сверху слоями мелких и пылеватых песков от 2 до 7 м. Исходные свойства ила: плотность 1,78 г/см³; плотность частиц 2,69 г/см³; влажность 0,50; влажность на границе текучести 0,46; влажность на границе раскатывания 0,36; коэффициент пористости 1,27; модуль деформации 1,5 Мпа. Особенностью ила является содержание органики до 11%. Целью исследований был поиск зависимости сопротивления недренированному сдвигу с возможностью неограниченного бокового расширения c_u от содержания цемента m . Указанную характеристику определяли методом одноосного сжатия цилиндрических образцов без обоймы по ГОСТ 12248.2-2020.

Для закрепления использовался цемент производства АО «Евроцемент» марки ЦЕМ 42,5Н с началом схватывания 135 мин, прочностью на сжатие в возрасте 2 сут - 30,9 МПа, прочностью на сжатие в возрасте 28 сут - 57,9 МПа. Образцы в возрасте 28 сут нагружали вертикальной нагрузкой в нагрузочных рамах LoadTrac-II GeoComp вплоть до разрушения. Содержание цемента составляло 5, 10, 15 и 20 % от массы сухого грунта.

Закрепление цементом обеспечило увеличение прочностных характеристик исследуемого ила в несколько раз, в частности, если сопротивление недренированному сдвигу составляло 17 кПа, то при добавке 5 % цемента возросло до 85 кПа и превысило величину 75 кПа, свойственную слабым грунтам. Искомая зависимость сопротивления недренированному сдвигу c_u (кПа)

DOI: 10.25635/2313-1586.2023.02.057

Glebova Julia M.

Postgraduate Student, Chair for engineering geology of foundation engineering, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, 163065 Arkhangelsk, 45 Moskovsky Av.
e-mail: glebovaulia@yandex.ru

Nosyrev Viktor V.

Bachelor student, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov,
e-mail: nosyrev.vitya@yandex.ru

SHEAR STRENGTH CHARACTERISTICS OF THE CEMENT-STABILIZED SOFT CLAYEY SOILS OF THE NORTHERN DVINA DELTA

Abstract:

The article presents the study results of strength characteristics of the cement-stabilized soft clayey soils. Samples of soft clayey soils were taken from a depth of 10.6 – 10.8 meter at the site located on the island territory in the Northern Dvina delta. Thickness layers of fine and silty sands varies between 2 and 7 meter. These layers are located above the soft clayey soils of thickness up to 7 meter. The initial characteristics of the samples of soft clayey soils are: density 1.78 g/sm³; unit weight of particles 2.69 g/sm³; water content 0.50; liquid limit 0.46; plastic limit 0.36; void ratio 1.27; oedometer modulus 1.5 MPa. The specific feature of the soft clayey soils is the organic content of up to 11%. The aim of the research was to find the dependencies of the undrained shear strength c_u and cement content m . The undrained shear strength was determined by the method of uniaxial compression of cylindrical samples without a cage according to GOST 12248.2-2020.

Cement used for stabilization of the soft clayey soils: grade of cement is CEM 42.5 N, beginning of setting is 135 minutes, compression strength at an exposure of 2 days is 30.9 MPa, compression strength at an exposure of 28 days is 57.9 MPa. The samples cement-stabilized clay at an exposure of 28 days were loaded with a vertical stress in LoadTrac-II GeoComp loading frames until destruction. The cement fiber contents were 5, 10, 15, 20 % by weight of the dry soil.

The results indicate that the shear strength for the investigated cement-stabilized soft clayey can increase several times. For example, undrained shear strength of natural soils was 17 kPa, while undrained shear strength of natural soils mixed with 5% cement is 85 kPa, and exceeded the value of 75 kPa as a characteristic of weak soils. The linear correlation of the undrained shear strength c_u with a cement content m was obtained: $c_u = 4,0m + 67.9$

от содержания цемента m (%) оказалась линейной: $C_u = 4,0m + 67,9$ ($R^2 = 0,94$). Образцам модифицированного ила было свойственно хрупкое разрушение при достижении предельного сопротивления.

Полученная зависимость может использоваться при проведении изысканий и выполнении расчетов оснований зданий и гидротехнических сооружений, в том числе с применением методов численного моделирования.

Ключевые слова: прибрежные территории, ил, сопротивление недренированному сдвигу, одноосное сжатие, стабилизация грунта.

($R^2 = 0.94$). Samples of cement-stabilized clay were characterized by brittle destruction when reaching the ultimate resistance.

The equation can be used for geological survey and design of buildings foundations, harbors, and bank protection walls, as well as using methods of numerical simulation.

Key words: coastal soft clayey soils, undrained shear strength, stress strain, uniaxial compression, cement-stabilized clay, unconfined compression testing.

Введение

Инженерно-геологические условия морских побережий и островов в дельтах крупных рек обычно считаются весьма сложными для строительства и последующей эксплуатации зданий и сооружений [1, 10, 14, 15, 28]. Их особенностью часто является наличие под слоем песка многометровых, неоднородных отложений илов различного состава, переслаивающихся с водонасыщенными мелкими и пылеватыми песками. Указанные грунты, согласно ГОСТ Р 54476–2011 [5], обладают низкими прочностными и деформационными свойствами, прочностью на сдвиг менее 75 кПа и модулем деформации менее 5 МПа, и для обоснования проектов строительства требуется тщательное изучение их характеристик. Такие работы выполнялись специалистами в области геотехники в различных странах [2, 11, 12, 15, 16, 24, 26]. Известны работы по наблюдению за деформациями существующих зданий и гидротехнических сооружений на пробных территориях [2, 19, 21].

В случае большой мощности отложений илов при возведении объектов транспортной инфраструктуры, производственно-складских зданий, например из быстровозводимых конструкций, использование свайных фундаментов, прорезающих всю толщу слабых грунтов экономически неэффективно. В настоящее время существуют технологии, позволяющие закреплять слабые грунты в основании зданий и сооружений на большую глубину с помощью цемента, извести, золы уноса [3, 8, 7, 18, 25], полимеров [6, 9, 13, 17], композитных стабилизаторов [20, 23, 29]. Наибольшее распространение получила струйная цементация грунтов, позволяющая формировать в грунтах прочные структурные связи [20, 22, 28]. Характеристики модифицированных грунтов следует определять экспериментально для каждой территории.

Целью настоящих исследований было изучение прочностных характеристик ила из дельты р. Северной Двины, закрепленного цементным раствором. Определялась зависимость сопротивления недренированному сдвигу C_u от содержания цемента. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании объектов строительства с использованием численного моделирования с моделями грунта Linear Elastic, Mohr-Coulomb, Hardening Soil, Soft Soil Creep.

Материалы, методы исследования, инструментальное обеспечение

Для проведения исследований были отобраны образцы ила на участке строительства, расположенном в промышленной зоне на островной территории г. Архангельска (рис. 1). Инженерно-геологический разрез участка представлен на рис. 2.



Рис. 1. Местоположение территории исследования – северная часть г. Архангельска

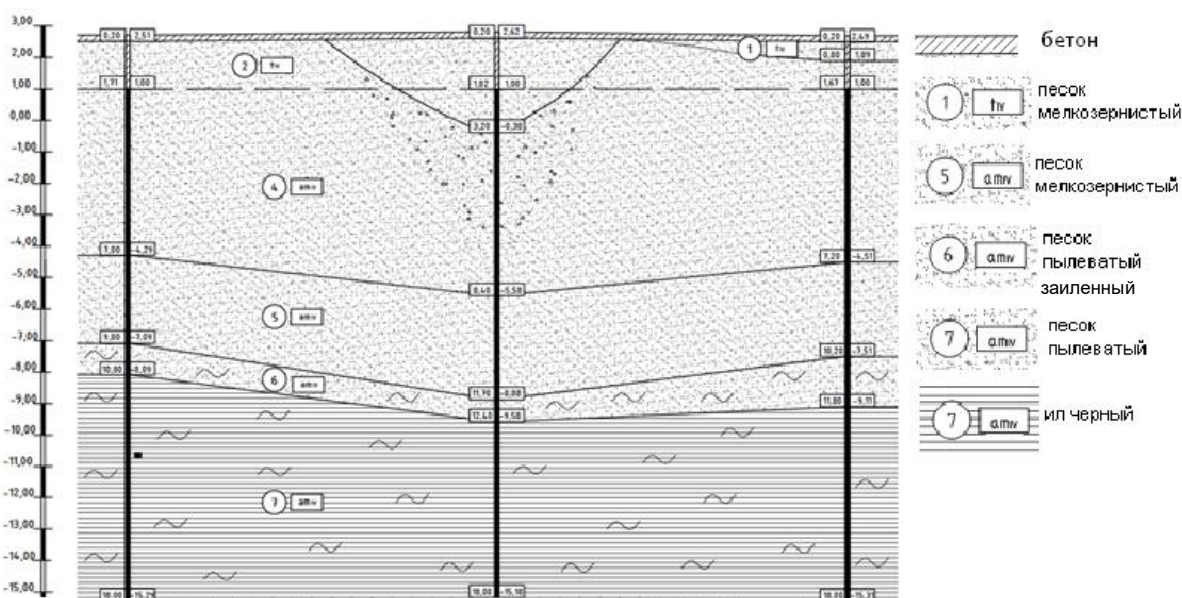


Рис. 2. Типичный инженерно-геологический разрез площадки исследования в г. Архангельске

В верхней части разреза присутствуют пески мелкие и пылеватые, часто заиленные, мощностью от 2 до 7 м. Далее залегает толща черного ила мощностью до 7 м, отличающегося содержанием органики до 11 %. Зеркало грунтовых вод располагается на глубине 1 м.

Образцы ила отбирались из скважины БС-1 с глубины 10,6 – 10,8 м. Исходные свойства ила следующие: плотность $1,78 \text{ г/см}^3$; плотность частиц $2,69 \text{ г/см}^3$; влажность 0,50; влажность на границе текучести 0,46; влажность на границе раскатывания 0,36; коэффициент пористости 1,27. Исследуемый суглинистый ил является очень сильно деформируемым грунтом с модулем деформации около 1,5 МПа [5].

Для закрепления использовался цемент производства АО «Евроцемент» марки ЦЕМ 42,5Н с началом схватывания 135 мин, прочностью на сжатие в возрасте 2 сут -30,9 МПа, прочностью на сжатие в возрасте 28 сут -57,9 МПа.

Характеристики прочности исходного и модифицированного ила определяли методом одноосного сжатия цилиндрических образцов с возможностью неограниченного бокового расширения по ГОСТ 12248.2-2020 [4].

Для проведения испытаний в пластиковых цилиндрических формах высотой 8 см и диаметром 4 см были подготовлены образцы: 1 образец ила без добавки цемента, а также по 2 образца (всего 8 образцов) с различным содержанием вяжущего (рис. 3). Содержание цемента определялось по массе сухого вещества и составляло 5, 10, 15 и 20 %. Далее все модифицированные образцы грунта хранились в идентичных условиях во влажной среде 28 сут. После набора прочности они извлекались из форм и испытывались при действии вертикальной нагрузки в нагрузочных рамах LoadTrac-II GeoComp. Нагрузка возрастала со скоростью 0,5 % в минуту вплоть до разрушения образцов. При испытании образца без добавки цемента видимые признаки разрушения отсутствовали, и опыт был завершён при относительной деформации 15 % [4].



Рис. 3. Нагрузочная рама LoadTrac-II GeoComp

Результаты исследования и их обсуждение

На рис. 4 показаны образцы после завершения испытаний. В отличие от образца природного ила (рис. 4а), у образцов ила с добавлением цемента (рис. 4б) наблюдалось вязко-хрупкое (содержание цемента в образце грунта 5 %) и хрупкое разрушение (содержание цемента в образце грунта 10 % более). С ростом содержания цемента увеличивалась скорость разрушения образца.

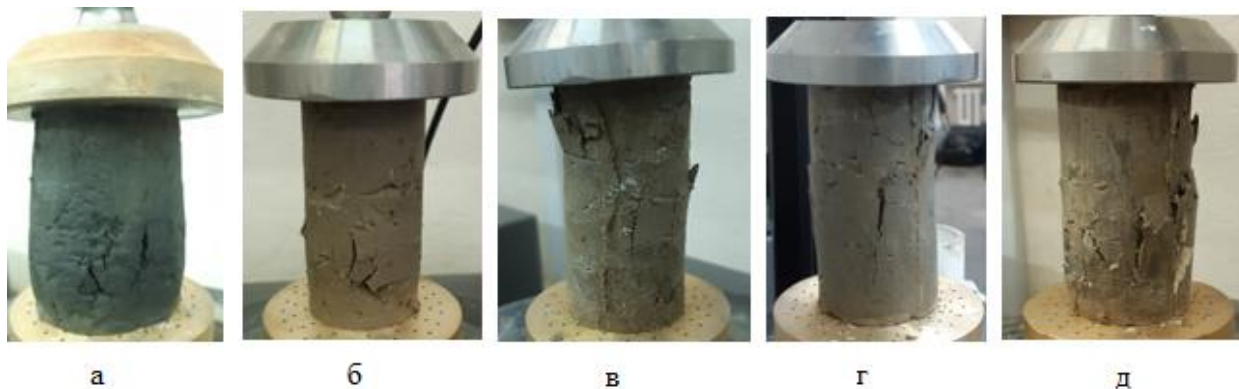


Рис. 4. Типы разрушения образцов:
а – вязкое, б – вязко-хрупкое; в, г, д – хрупкое

Характерные графики зависимости относительных деформаций образцов от приложенной нагрузки при выраженном разрушении $\varepsilon = f(F)$ представлены на рис. 5.

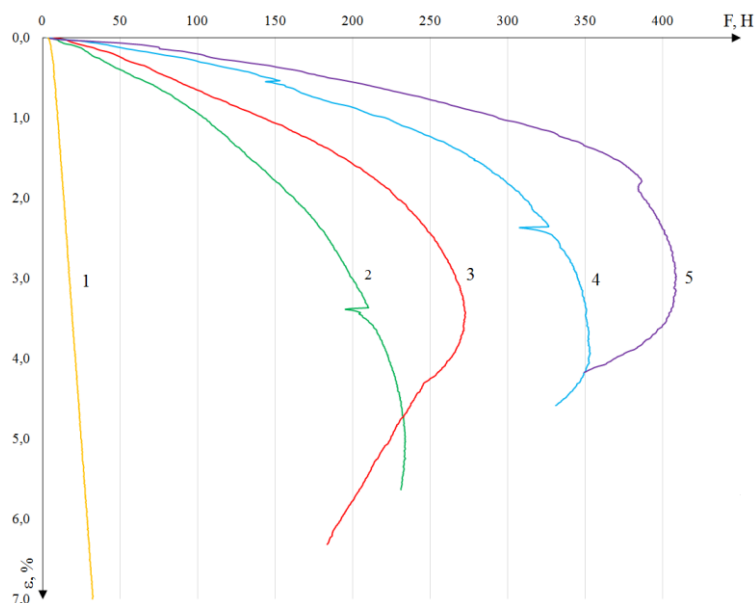


Рис. 5. Характерная зависимость $\varepsilon = f(F)$, цифрами обозначены графики для образцов с различным содержанием стабилизирующей добавки – цемента в %: 1 – 0 %; 2 – 5 %; 3 – 10 %; 4 – 15 %; 5 – 20 %, соответственно

Сопротивление недренированному сдвигу c_u (кПа) определяли по формуле [4]:

$$c_u = \frac{\sigma_f}{2}, \quad (1)$$

где σ_f – вертикальные напряжения при разрушении образца.

По результатам испытаний 8 образцов построен график зависимости сопротивления недренированному сдвигу c_u от содержания цемента m (рис. 6). Указанная зависимость является линейной:

$$c_u = 4,0m + 67,9. \quad (2)$$

Для исходного ила без добавок цемента $c_u = 17,26$ кПа.

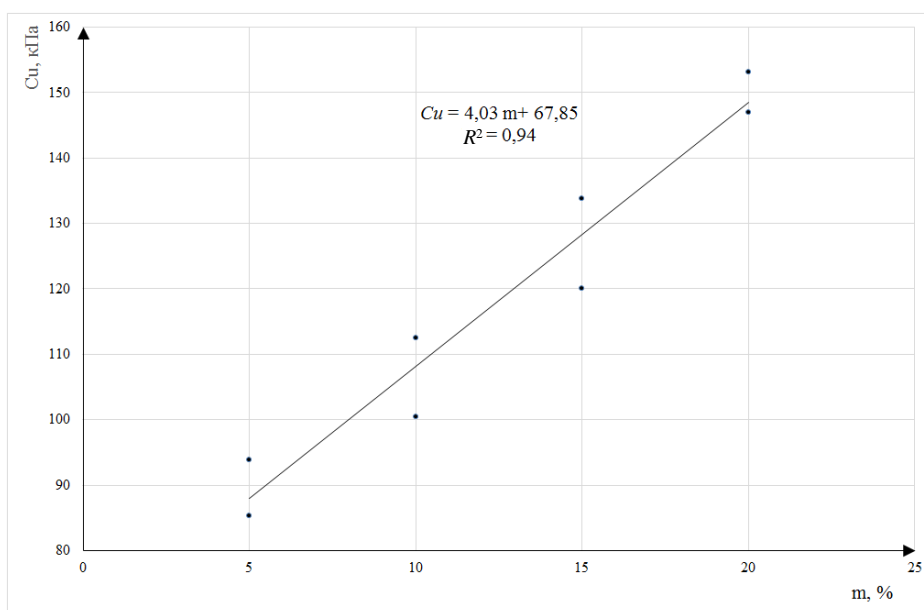


Рис. 6. Зависимость сопротивления недренированному сдвигу c_u от содержания цемента m

Выводы

1. Закрепление цементом обеспечило увеличение прочностных характеристик исследуемого ила в несколько раз, в частности, если сопротивление недренированному сдвигу составляло 17,26 кПа, то при добавке 5 % цемента возросло до 85,37 кПа и превысило величину 75 кПа, свойственную слабым грунтам [5].
2. Зависимость сопротивления недренированному сдвигу c_u от содержания цемента m в % является линейной: $c_u = 4,0 m + 67,9$.
3. Образцам модифицированного ила свойственно хрупкое разрушение при достижении предельного сопротивления.

Список литературы

1. Aguiar V. N., Andrade M.S., Martins I. S. M., Rémy J. P. P., Lima P.E., 2021. Compressibility and consolidation properties of Santos soft clay near Barnabé Island. *Soils and Rocks*, Vol. 44, No. 4, Pp. 1 – 18. DOI:10.28927/SR.2021.074821.
2. Akbarimehr D., Eslami A., Aflaki E., Imam R., 2020. Using empirical correlations and artificial neural network to estimate compressibility of low plasticity clays. *Arabian Journal of Geosciences*, Vol. 13, No. 1225. DOI:10.1007/s12517-020-06228-3.
3. A. Boz, A. Sezer, T. Ozdemir, G. E. Hizal, and O. A. Dolmacı, 2018. Mechanical properties of lime-treated clay reinforced with different types of randomly distributed fibers. *Arabian Journal of Geosciences*, Vol. 11, No. 6., P. 122.
4. ГОСТ 12248.2-2020. Грунты. Определение характеристик прочности методом одноосного сжатия. Введ. 2021-06-01. Москва: Изд-во Стандартиформ, 2020, 11 с.
5. ГОСТ 25.100-2020. Грунты. Классификация. Введ. 2021-01-01. Москва: Изд-во Стандартиформ, 2020, 41 с.
6. Cabalar, A.F., Awraheem, M.H. and Khalaf, M.M., 2018. Geotechnical properties of a low-plasticity clay with biopolymer. *J. Mater. Civ. Eng.*, Vol. 30(8), No. 04018170.
7. Cai Y., Xu L., Liu W. et al., 2020. Field Test Study on the dynamic response of the cement-improved expansive soil subgrade of a heavy-haul railway. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Vol. 128, No. 10, Pp. 58 – 78.
8. Cao Z., Ma Q., Wang H., 2019. Effect of Basalt Fiber Addition on Static-Dynamic Mechanical Behaviors and Microstructure of Stabilized Soil. *Compositing Cement and Fly Ash. Advances in Civil Engineering*, Vol. 2019, No. 8214534, P. 20. DOI: 10.1155/2019/8214534.
9. Chang I., Cho G.C., 2018. Shear strength behavior and parameters of microbial gellan gum-treated soils: from sand to clay. *Acta Geotechnica*, Vol. 14(2), Pp. 361 – 375. DOI:10.1007/s11440-018-0641-x.
10. Deqiang Che, Junhui Luo, Xianlin Liu, Decai Mi, Longwang Xu., 2019. Improved Double-Layer Soil Consolidation Theory and Its Application in Marine Soft Soil Engineering. *J. Mar. Sci. Eng.*, Vol. 7 (5), No. 156. DOI:10.3390/jmse7050156.
11. Dhianty E., Mochtar I., 2018. Method of removing secondary compression on clay using preloading. *MATEC Web of Conferences*, Vol. 195, No. 03006. DOI: 10.1051/mateconf/201819503006.
12. Erzin Y., Abasi H.M., Kordnaej A., Erzin S., 2020. Prediction of Compression Index of Saturated Clays Using Robust Optimization Model. *Journal of Soft Computing in Civil Engineering*, Vol. 4., No. 3, Pp. 1 – 16. DOI: 10.22115/SCCE.2020.233075.1226.
13. Gao M., Yuan F., Xue Y., Guan P., 2020. Effect of Polyacrylamide on Compression Rate of Lime Stabilized Soil. *Sains Malaysiana*, Vol. 49(8), Pp. 1925 – 1934. DOI:10.17576/jsm-2020-4908-14.

14. Hassan N.M.K.N., Wahid S., Wahab M.T.A., 2018. Geotechnical and Minerology Properties of Marine Clay at the Northeast of Penang Island. *MATEC Web of Conferences*, Vol. 203, No. 04005. DOI: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201820304005>.
15. Huang C., Li Q., Wu S., Liu Y., Li J., 2019. Assessment of empirical equations of the compression index of muddy clay: sensitivity to geographic locality. *Arabian Journal of Geosciences*, Vol. 12, No. 122, Pp. 1 – 13. DOI:10.1007/s[[517-019-4276-5.
16. Kifae A., Hassan A., Shanbara H., 2018. Empirical Relationships Between Index Properties and Compression Indices of Clayey Soils in Al-Nasiriya City. *Journal of University of Babylon, Engineering Sciences*, Vol. 26, No. 1, Pp. 348 – 356.
17. Kwon Y.-M., Chang I., Lee M. and Cho G.-C., 2019. Geotechnical engineering behavior of biopolymer-treated soft marine soil. *Geomechanics and Engineering*, Vol. 17, No. 5, Pp. 453 – 464 DOI: 10.12989/gae.2019.17.5.453.
18. Mashifana T. P., Okonta F. N.i., Ntuli F., 2018. Geotechnical Properties and Microstructure of Lime-Fly Ash-Phosphogypsum-Stabilized Soil. *Advances in Civil Engineering*, Vol. 2018, No. 3640868, Pp. 9 DOI: 10.1155/2018/3640868.
19. Nguyen T.N., Nguyen T.D., Bui T.S., 2021. Geotechnical Properties of Soft Marine Soil at Chan May Port, Vietnam. *Journal of the Polish Mineral Engineering Society*, Vol. 21, No. 2, Pp. 20 7– 216. DOI <http://doi.org/10.29227/IM-2021-02-18>.
20. Ruan B., Zheng S., Teng J., Ding H., Ma.C., 2020. Analysis on the Triaxial Shear Behavior and Microstructure of Cement-Stabilized Clay Reinforced with Glass Fibers. *Advances in Civil Engineering*, Vol. 2020, No. 8842091, Pp. 12. DOI: /10.1155/2020/8842091.
21. Salih N., 2019. Geotechnical characteristics correlations for fine-grained soils. *4th International Conference on Buildings, Construction and Environmental Engineering, 7-9 October, Istanbul, Turkey*, Vol. 737, No. 012099, Pp. 1 – 12. DOI:10.1088/1757-899X/737/1/012099.
22. Семкин В.В., 2020. *Методическое пособие по укреплению грунтов методами струйной цементации, глубинным перемешиванием, инъекции растворами на основе микроцементов, манжетной инъекцией в режиме гидроразрывов*. Москва: АО «НИЦ «Строительство», 89 с.
23. H. Shi, Z. Li, W. Li, S. Wang, B. Wang, P. Wang, 2021. Effect of Freeze-Thaw Cycles on the Mechanical Properties of Polyacrylamide- and Lignocellulose-Stabilized Clay in Tibet. *Advances in Materials Science and Engineering*, Vol. 2021, No. 7723405, Pp. 16. DOI:10.1155/2021/7723405.
24. Shimobe S., Spagnoli G.A., 2022. General Overview on the Correlation of Compression Index of Clays with Some Geotechnical Index Properties. *Geotechnical and Geological Engineering*, Vol. 40, Pp. 311 – 324. DOI:10.1007/s10706-021-01888-8.
25. Suneel M., Kwon J., Im J.-C., Jeon C.W., 2010. Long-Term Consolidation and Strength Behavior of Marine Clay Improved with Fly Ash. *Marine Georesources and Geotechnology*, Vol. 28, Pp. 1 – 10. DOI: 10.1080/10641190903479031.
26. Tian M, Sheng X., 2020. CPT-Based Probabilistic Characterization of Undrained Shear Strength of Clay. *Hindawi. Advances in Civil Engineering*, Vol. 2020, P. 1 - 15. DOI: <https://doi.org/10.1155/2020/9617698>.
27. Helle T. E., Aagaard P., Nordal S., Long M., Bazin S., 2019. Geochemical, mineralogical and geotechnical characterization of the low plastic, highly sensitive glaciomarine clay at Dragvoll, Norway. *AIMS Geosciences*, Vol. 5(4)., Pp. 704–722. DOI: 10.3934/geosci.2019.4.704/.
28. Шулятьев О.А., 2020. Снижение осадки фундамента за счет изменения напряженно-деформированного состояния основания путем инъекции твердеющего раствора. *Вестник НИЦ «Строительство»*, Т. 26, № 3, С. 121 – 148.
29. Wang D. X., Wang H. W., Larsson S. et al., 2020. Effect of basalt fiber inclusion on the mechanical properties and microstructure of cement-solidified kaolinite. *Construction and Building Materials*, Vol. 241, No. 118085. 10.1016/j.conbuildmat.2020.118085.

References

1. Aguiar V. N., Andrade M.S., Martins I. S. M., Rémy J. P. P., Lima P.E., 2021. Compressibility and consolidation properties of Santos soft clay near Barnabé Island. *Soils and Rocks*, Vol. 44, No. 4, Pp. 1 – 18. DOI:10.28927/SR.2021.074821.
2. Akbarimehr D., Eslami A., Aflaki E., Imam R., 2020. Using empirical correlations and artificial neural network to estimate compressibility of low plasticity clays. *Arabian Journal of Geosciences*, Vol. 13, No. 1225. DOI:10.1007/s12517-020-06228-3.
3. A. Boz, A. Sezer, T. Ozdemir, G. E. Hizal, and O. A. Dolmaci, 2018. Mechanical properties of lime-treated clay reinforced with different types of randomly distributed fibers. *Arabian Journal of Geosciences*, Vol. 11, No. 6., P. 122.
4. GOST 12248.2-2020. *Grunty. Opredelenie kharakteristik prochnosti metodom odnoosnogo szhatiia. Vved. 2021-06-01* [GOST 12248.2-2020. Soils. Determination of strength characteristics by uniaxial compression method]. Moscow: Izd-vo Standartinform, 2020, 11 p.
5. GOST 25.100-2020. *Grunty. Klassifikatsiia. Vved. 2021-01-01* [GOST 25.100-2020. Soils. Classification. Enacted on 2021-01-01]. Moscow: Izd-vo Standartinform, 2020, 41 p.
6. Cabalar, A.F., Awraheem, M.H. and Khalaf, M.M., 2018. Geotechnical properties of a low-plasticity clay with biopolymer. *J. Mater. Civ. Eng.*, Vol. 30(8), No. 04018170.
7. Cai Y., Xu L., Liu W. et al., 2020. Field Test Study on the dynamic response of the cement-improved expansive soil subgrade of a heavy-haul railway. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Vol. 128, No. 10, Pp. 58 – 78.
8. Cao Z., Ma Q., Wang H., 2019. Effect of Basalt Fiber Addition on Static-Dynamic Mechanical Behaviors and Microstructure of Stabilized Soil. *Compositing Cement and Fly Ash. Advances in Civil Engineering*, Vol. 2019, No. 8214534, P. 20. DOI: 10.1155/2019/8214534.
9. Chang I., Cho G.C., 2018. Shear strength behavior and parameters of microbial gellan gum-treated soils: from sand to clay. *Acta Geotechnica*, Vol. 14(2), Pp. 361 – 375. DOI:10.1007/s11440-018-0641-x.
10. Deqiang Che, Junhui Luo, Xianlin Liu, Decai Mi, Longwang Xu., 2019. Improved Double-Layer Soil Consolidation Theory and Its Application in Marine Soft Soil Engineering. *J. Mar. Sci. Eng.*, Vol. 7 (5), No. 156. DOI:10.3390/jmse7050156.
11. Dhianty E., Mochtar I., 2018. Method of removing secondary compression on clay using preloading. *MATEC Web of Conferences*, Vol. 195, No. 03006. DOI: 10.1051/mateconf/201819503006.
12. Erzin Y., Abasi H.M., Kordnaeij A., Erzin S., 2020. Prediction of Compression Index of Saturated Clays Using Robust Optimization Model. *Journal of Soft Computing in Civil Engineering*, Vol. 4., No. 3, Pp. 1 – 16. DOI: 10.22115/SCCE.2020.233075.1226.
13. Gao M., Yuan F., Xue Y., Guan P., 2020. Effect of Polyacrylamide on Compression Rate of Lime Stabilized Soil. *Sains Malaysiana*, Vol. 49(8), Pp. 1925 – 1934. DOI:10.17576/jsm-2020-4908-14.
14. Hassan N.M.K.N., Wahid S., Wahab M.T.A., 2018. Geotechnical and Minerology Properties of Marine Clay at the Northeast of Penang Island. *MATEC Web of Conferences*, Vol. 203, No. 04005. DOI: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201820304005>.
15. Huang C., Li Q., Wu S., Liu Y., Li J., 2019. Assessment of empirical equations of the compression index of muddy clay: sensitivity to geographic locality. *Arabian Journal of Geosciences*, Vol. 12, No. 122, Pp. 1 – 13. DOI:10.1007/s[[517-019-4276-5.
16. Kifae A., Hassan A., Shanbara H., 2018. Empirical Relationships Between Index Properties and Compression Indices of Clayey Soils in Al-Nasiriya City. *Journal of University of Babylon, Engineering Sciences*, Vol. 26, No. 1, Pp. 348 – 356.
17. Kwon Y.-M., Chang I., Lee M. and Cho G.-C., 2019. Geotechnical engineering behavior of biopolymer-treated soft marine soil. *Geomechanics and Engineering*, Vol. 17, No. 5, Pp. 453 – 464 DOI: 10.12989/gae.2019.17.5.453.

18. Mashifana T. P., Okonta F. N.i., Ntuli F., 2018. Geotechnical Properties and Microstructure of Lime-Fly Ash-Phosphogypsum-Stabilized Soil. *Advances in Civil Engineering*, Vol. 2018, No. 3640868, Pp. 9 DOI: 10.1155/2018/3640868.
19. Nguyen T.N., Nguyen T.D., Bui T.S., 2021. Geotechnical Properties of Soft Marine Soil at Chan May Port, Vietnam. *Journal of the Polish Mineral Engineering Society*, Vol. 21, No. 2, Pp. 207–216. DOI <http://doi.org/10.29227/IM-2021-02-18>.
20. Ruan B., Zheng S., Teng J., Ding H., Ma.C., 2020. Analysis on the Triaxial Shear Behavior and Microstructure of Cement-Stabilized Clay Reinforced with Glass Fibers. *Advances in Civil Engineering*, Vol. 2020, No. 8842091, Pp. 12. DOI: /10.1155/2020/8842091.
21. Salih N., 2019. Geotechnical characteristics correlations for fine-grained soils. *4th International Conference on Buildings, Construction and Environmental Engineering, 7-9 October, Istanbul, Turkey*, Vol. 737, No. 012099, Pp. 1 – 12. DOI:10.1088/1757-899X/737/1/012099.
22. Semkin V.V., 2020. Metodicheskoe posobie po ukrepleniyu gruntov metodami struinoi tsementatsii, glubinnym peremeshivaniem, in"eksii rastvorami na osnove mikrotsementov, manzhetnoi in"eksiei v rezhime gidrorazryvov [Methodical manual on strengthening the grunt by jet cementation methods, deep mixing, injection with solutions based on micro-cements, and cuff injection in the hydraulic fracturing regime]. Moscow: AO "NITs "Stroitel'stvo", 89 p.
23. H. Shi, Z. Li, W. Li, S. Wang, B. Wang, P. Wang, 2021. Effect of Freeze-Thaw Cycles on the Mechanical Properties of Polyacrylamide- and Lignocellulose-Stabilized Clay in Tibet. *Advances in Materials Science and Engineering*, Vol. 2021, No. 7723405, Pp. 16. DOI:10.1155/2021/7723405.
24. Shimobe S., Spagnoli G.A., 2022. General Overview on the Correlation of Compression Index of Clays with Some Geotechnical Index Properties. *Geotechnical and Geological Engineering*, Vol. 40, Pp. 311 – 324. DOI:10.1007/s10706-021-01888-8.
25. Suneel M., Kwon J., Im J.-C., Jeon C.W., 2010. Long-Term Consolidation and Strength Behavior of Marine Clay Improved with Fly Ash. *Marine Georesources and Geotechnology*, Vol. 28, Pp. 1 – 10. DOI: 10.1080/10641190903479031.
26. Tian M, Sheng X., 2020. CPT-Based Probabilistic Characterization of Undrained Shear Strength of Clay. Hindawi. *Advances in Civil Engineering*, Vol. 2020, P. 1–15. DOI: <https://doi.org/10.1155/2020/9617698>.
27. Helle T. E., Aagaard P., Nordal S., Long M., Bazin S., 2019. Geochemical, mineralogical and geotechnical characterization of the low plastic, highly sensitive glaciomarine clay at Dragvoll, Norway. *AIMS Geosciences*, Vol. 5(4)., Pp. 704–722. DOI: 10.3934/geosci.2019.4.704/.
28. Shuliat'ev O.A., 2020. Snizhenie osadki fundamenta za schet izmeneniia napriazhenno-deformirovannogo sostoianiia osnovaniia putem in"eksii tverdeyushchego rastvora [Reduction of foundation precipitation due to the change of the stress-strain state of the foundation by injection of a hardening solution]. Vestnik NITs "Stroitel'stvo", V. 26, № 3, P. 121 - 148.
29. Wang D. X., Wang H. W., Larsson S. et al., 2020. Effect of basalt fiber inclusion on the mechanical properties and microstructure of cement-solidified kaolinite. *Construction and Building Materials*, Vol. 241, No. 118085. 10.1016/j.conbuildmat.2020.118085.