

МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЙ СОСТАВ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ СВАЙНЫХ ОСНОВАНИЙ, ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ПОВЫШЕНИЕ И ПониЖЕНИЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ЗАБИВНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПРИЗМАТИЧЕСКИХ СВАЙ ВО ВРЕМЕНИ

Пивонос В.М., Пивонос В.В., Пивонос М.В.

Одесская государственная академия строительства и архитектуры
г. Одесса, Украина

АННОТАЦИЯ: Наведено приклади досвіду будівництва на паливових основах в глинистих ґрунтах. Акцентується увага на мінералогічний склад ґрунтів основ, відзначаються фактори, що впливають на підвищення або зниження несучої спроможності забивних залізобетонних призматичних паль на протязі часу.

АННОТАЦИЯ: Приведены примеры из опыта строительства на свайных основаниях в глинистых грунтах. Акцентируется внимание на минералогическом составе грунтов оснований, выделяются факторы, способствующие повышению, либо понижению несущей способности забивных железобетонных призматических свай во времени.

ABSTRACT: The examples from the experience of the construction on pile foundations in clay soils are presented. The attention is focused on the mineralogical composition of the soil bases are highlighted factors contributing to increase or decrease the bearing capacity of precast concrete piles prismatic in time.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: свайные основания, глинистые грунты, минералогический состав, несущая способность свай.

ВВЕДЕНИЕ

Изучение вопросов, связанных с поведением лессовых грунтов в основаниях фундаментов в зависимости от различных факторов

природного и техногенного характера, в частности учет минералогического состава глинистых грунтов, особенно лессовых имеет важное значение в предварительной оценке несущей способности свайных оснований. В практике строительства на водонасыщенных глинистых лессовых грунтах наблюдаются случаи, в основном, повышения несущей способности свай после «отдыха», но иногда имеет место уменьшение несущей способности свай. На указанные отклонения оказывают влияние разные физико-механические процессы, в том числе и минералогический состав грунтов оснований.

В мировой практике накоплен определенный опыт строительства на обводненных глинистых грунтах, в том числе лессовых. В научную литературу термин «лесс» был впервые введен в 1823 году К. Леонардсом. Первоначально под лессом понимали слабые породы, в которых более или менее выражены «лессовые» признаки, включающие светло-пылеватый цвет, пылеватый состав, наличие макропор.

Некоторые ученые, например, В.А. Обручев (1948), И.И. Трофимов (1950) и другие, связывали термин «лесс» с генезисом породы. Они относили к лессу только те породы со специфическим «лессовым» обликом, которые имели эоловое происхождение, то есть были накоплены в результате переноса мелких минеральных частиц ветром. Другие, похожие на лессы породы, но с иным происхождением, они относили к лессовидным. Многие исследователи (Н.Я. Денисов, 1953; Г.А. Мавлянов, 1958; С.С. Морозов, 1951; А.П. Павлов, 1899) понимали под лессом породу, имеющую совокупность определенных литологических признаков (светло-палевый цвет, пылеватый состав, макропористость, отсутствие слоистости, наличие большого количества карбонатов) в независимости от ее происхождения. Некоторые авторы, например Г.А. Мавлянов (1958), Е.М. Сергеев (1976) и другие считали, что основным диагностическим признаком лесса является его просадочность.

В настоящее время к лессам относят однородную, неслоистую, сильно пылеватую (содержание фракций 0,005...0,05 мм более 50 %), пористую (пористость более 42 %), часто имеющую макропоры маловлажную породу, проявляющую просадку при замачивании («Лессовые породы СССР», 1986). В наших исследованиях мы рассматриваем лессовые и глинистые грунты в замоченном состоянии.

По возрасту лессовые породы относятся к нижнему, среднему и верхнему отделам четвертичной системы, по генезису – к эолово-делювиальным, аллювиальным и подовым отложениям. Для них характерен пестрый литологический состав и представлены они лессовидными супесями; легкими, средними и тяжелыми лессовидными суглинками и лессовидными глинами. По данным валового анализа [6] в лессовых породах значительное содержание SiO_2 (в среднем 65,37 %) и

несколько повышенное по сравнению с вышележащими породами, содержание Al_2O_3 (в среднем 10,96 %), Fe_2O_3 (в среднем 4,79 %). Содержание карбонатов составляет в среднем 7,31 %, гипса 0,028 %. В них содержатся воднорастворимые соли (в среднем 0,164 %) при высокой емкости поглощения (до 25,32 %). Минеральный состав влияет на деформационные свойства глинистых грунтов и проявляется через размер, форму и гидрофильность частиц. По данным исследований [7] изучение гранулометрического состава лессов г. Одессы (с глубины 4 м) полидисперсным методом дал следующие результаты (табл. 1).

Таблица 1

Способ подготовки к анализу	Содержание частиц, %					Содержание $CaCO_3$, %
	d > 0.25	d = 0.25-0.05	d = 0.05-0.01	d = 0.01-0.002	d < 0.02	
						4.64
Полидисперсный 1-с $Na_4P_2O_7$	0.03	26.49	44.00	18.36	11.16	
Суспензии	0.006	11.14	50.00	15.56	23.24	
2-паста с $Na_4P_2O_7$	0.07	15.57	46.88	11.64	25.88	

$Na_4P_2O_7$ – пирофосфат натрия (пирофосфорнокислый натрий) диспергатор, способствующий разделению фракций.

Экспериментальные данные, полученные в ходе полевых исследований несущей способности свай, прорезающих замоченные глинистые и лессовые грунты с учетом физического состояния грунтов и оценки их агрегатного и минералогического состава, дает дополнительные возможности для выбора оптимальных параметров свай для свайных фундаментов для инженерно-геологических условий, сходных с представленными в исследованиях. Особенно это касается случаев, когда со временем, независимо от «отдыха» происходит понижение несущей способности свай.

Цель исследований – настоящие исследования на основе анализа позволят наметить рациональные по качеству и содержанию новые этапы исследований, что значительно расширит базу для оценки строительных свойств водонасыщенных глинистых и лессовых грунтов, будет способствовать эффективному проектированию свайных оснований и фундаментов с обеспечением надлежащей надежной последующей эксплуатации сооружений.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Как отмечают [1 - 3 и др.] лессовые грунты состоят из нескольких десятков минералов. В основном они представлены кварцем, полевыми шпатами, глинистыми минералами и карбонатами. С генетических позиций они разделяют минералы лессовых грунтов на три основные группы: кластогенные, глинистые, типоморфные. Отмечается, что из выделенных групп минералов, глинистые минералы в большей части представленные гидрослюдами, каолинитом, монтмориллонитом и др. являются наиболее активной частью лессовых грунтов, ввиду их высокой дисперсности, способности к адсорбции и ионному обмену. Среди всех минералов наибольшая гидрофильность у монтмориллонита (особенно его натриевой разновидности), характеризуемого способностью удерживать на своей поверхности и внутри кристаллической решетки большое количество связанной воды. Водно-физические свойства лессовых грунтов зависят в значительной мере от количества глинистых частиц, от количества монтмориллонита и смешаннослойных образований типа «гидрослюда-монтмориллонит».

В ряд лессовых грунтов входят: супеси; суглинки легкие, средние, тяжелые; глины, в которых в разной степени содержатся глинистые частицы, влияющие на структуру лессовых грунтов и на проявление ими важнейших водно-физических свойств (набухание, просадочность, пластичность, липкость, размокание, водопроницаемость). Отмечается, что монтмориллонит практически отсутствует в лессовых грунтах типа супесей и легких суглинках с раздельно-зернистыми структурами.

В глинистых породах также присутствуют простые соли, в твердом или наиболее часто растворенном виде, как например соли натрия. Соотношения между твердой и растворенной формами простых солей в породах регулируется растворимостью соли в данном растворе. Ввиду этого концентрация насыщенных растворов наименьшая у карбонатов кальция и магния, больше у гипса и наибольшая у хлоридов и сульфатов натрия. При оценке концентрации насыщенных поровых растворов учитывается изменение растворимости данной соли в зависимости от присутствия других солей, pH раствора и других факторов. Растворенность карбонатов кальция в рыхлых продуктах верхней части коры выветривания очень велика. По данным опытов Ф.П. Саваренского [3] скорость размокания карбонатного суглинка в дистиллированной воде в 2,5 раза меньше, чем у выщелоченного суглинка, показатели сопротивления сдвигу соответственно выше, у первого $\varphi = 27^{\circ}42'$; коэффициент трения $f = 0,525$, у второго $\varphi = 21^{\circ}49'$; коэффициент трения $f = 0,40$. Коэффициент фильтрации у первого 0,01 м/сут, у второго 0,02 м/сут.

Покажем на примере двух участков свайных оснований сложенных лессовыми водонасыщенными грунтами, как изменяется несущая способность свай во времени.

Участок №1 (сваи погружены вдавливанием).

Длина свай 14 м, сечение 0,35 x 0,35 м. Сваи прорезают на глубину 13,5 м от дна котлована ($h = 2,4$ м) следующие ИГЭ:

- ИГЭ 2. Суглинок лессовый, желто-бурый, легкий, мягкопластичный с включением гумуса, мощность 2,0 м (водовмещающий слой, УГВ на глубине 4,0 м от поверхности);

- ИГЭ 3. Супесь лессовая, буровато-палевая, текучепластичная, мощностью 4,6...4,8 м;

- ИГЭ 4. Суглинок лессовый, желто-бурый, тяжелый, тугопластичный, мощностью 3,9...4,1 м;

- ИГЭ 5. Суглинок лессовый, буровато-палевый, легкий, тугопластичный, мощностью 1,5...1,6 м;

- ИГЭ 6. Суглинок тяжелый, красно-бурый, твердый до полутвердого, мощность 5,0...5,4 м (несущий слой), заглубление свай на 1,6...1,9 м;

- ИГЭ 7. Глина легкая, пылеватая, красно-бурая, твердая, пройденная мощность 4,5 м.

Испытания свай выполнялись в соответствии с [5]. После двадцати суток отдыха сваи понесли нагрузку 870 кН; а через 1,5...2 месяца 750...700 кН. На уменьшение несущей способности свай очевидно повлиял минералогический состав и структурно-текстурные особенности грунтов свайного основания. В процессе изысканий оценка минералогического состава грунтов оснований не выполнялась.

Участок №2 (сваи погружены забивкой дизель-молотом), испытания повторные после расконсервации объекта, предшествующие прошли 6 лет назад. В процессе изысканий оценка минералогического состава грунтов оснований не выполнялась.

Сваи длиной 11 м, сечение 0,35 x 0,35 м. Сваи прорезают с отметки дна котлована ($h = 1,5$ м) на глубину 10,5 м, следующие ИГЭ:

- ИГЭ 2. Суглинок лессовый, легкий, желто-бурый, полутвердый, просадочный, прорезаемая мощность 1,8...2,1 м;

- ИГЭ 3. Супесь лессовая, палевая, пластичная до текучей, непросадочная, (водовмещающий слой УГВ на глубине 4,1 м от поверхности), прорезаемая мощность 3,5...4,3 м;

- ИГЭ 4. Суглинок лессовый, тяжелый, светло-коричневый, полутвердый до мягкопластичного, прорезаемая мощность 1,5 м;

- ИГЭ 5. Супесь лессовая, тяжелая, палевая, пластичная, прорезаемая мощность 0,7 м;

- ИГЭ 6. Суглинок лессовый, тяжелый, красно-бурый, твердый до полутвердого, мощность 3,6...3,8 м (несущий слой), заглубление свай на 2,6...2,9 м;

- ИГЭ 7. Глина легкая, пылеватая, красно-бурая, с затеками зеленовато-серый, твердая (подстилающий слой).

Повторные испытания свай на участке №2 выполнялись в связи с увеличением в соответствии с нормами [8] балльности по городу Одессе до семи баллов. Поэтому в процессе повторных испытаний было необходимо сделать поправку на коэффициент сейсмичности $q_{ек}$ для грунтов оснований. Испытания выполнялись в соответствии с техническим заданием четырех призматических свай на максимально вдавливающее усилие 1100 кН, было испытано 4 сваи. Результаты испытаний, по сравнению с ранее выполненными 6 лет назад показали реальное увеличение несущей способности свай на 35...40 %, при значительном уменьшении осадок в сопоставлении с предыдущими испытаниями, т.е. это указывает на запас несущей способности, что позволило на ранее выполненном свайном основании возвести многоэтажное монолитно-каркасное строение.

Повышение несущей способности свай произошло за счет тиксотропного упрочнения, которое многие исследователи отмечают в лессовых средних и тяжелых суглинках, тяжелых супесях и глинах, при этом, как отмечается в [2] большую роль в этом играет наличие минерала монтмориллонита и характер структуры лессовых грунтов, автор отмечает, что в лессовых грунтах типа супесей и легких суглинков с раздельно-зернистыми структурами практически отсутствует эффект тиксотропного упрочнения.

Как следует из табл. 1 [7] в лессовых грунтах г. Одессы с глубины 4 м содержатся частицы размером d равное 0,05...0,1 мм, в большом количестве, близком к 50 %. Этот фактор также влияет на тиксотропное упрочнение. В случае значительного увеличения частиц размером d менее 0,05 мм, при наличии монтмориллонита резко возрастает пластичность, а следовательно и деформируемость грунта, очевидно это и есть одной из причин понижения несущей способности свай на участке №1.

ВЫВОДЫ

1. Лессовые грунты представляют ряд глинистых грунтов: супеси; суглинки легкие, средние, тяжелые; глины.
2. Наиболее активной частью лессовых грунтов являются глинистые минералы: каолинит, монтмориллонит, гидрослюда и др.

3. Среди всех минералов значительной гидрофильностью отличается монтмориллонит, способный удерживать на своей поверхности и внутри кристаллической решетки большое количество связанной воды.

4. Водно-физические свойства лессовых грунтов с характерными структурными особенностями зависят от количества глинистых частиц, количества монтмориллонита и других смешанно-слоистых образований наподобие «гидрослода монтмориллонит».

5. Отсутствие монтмориллонита в лессовых супесях и легких лессовых суглинках при раздельно-зернистой структуре значительно снижает их анизотропные свойства.

6. Анизотропные свойства водонасыщенных глинистых грунтов влияют на повышение несущей способности свай во времени.

7. Для более высокой качественной оценки несущей способности глинистых водонасыщенных грунтов свайных оснований в процессе изысканий необходимо оценивать их по гранулометрическому, минералогическому составу и фильтрационным свойствам которые находятся во взаимосвязи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сергеев Е.М. Инженерная геология / Е.М. Сергеев. – М.: Изд. МГУ, 1982. – 248 с.
2. Ананьев В.П. Техническая мелиорация лессовых грунтов / В.П. Ананьев. – Ростов на Дону: Изд. Ростовского университета, 1976. – 120 с.
3. Ю.Ф. Тугаенко. Процессы деформирования грунтов в основаниях фундаментов, свай и свайных фундаментов: монография / Ю.Ф. Тугаенко. – Одесса: Астропринт, 2008. – 216 с.
4. Саваренский Ф.П. Инженерная геология. Второе изд. / Ф.П. Саваренский. – М., 1959. – 389 с.
5. ДСТУ Б В.2.1-1-95 (ГОСТ 5686-94): Грунти. Методи польових випробувань палями. – [Чинний від 1996-04-01]. - К.: Укрархбудінформ. – 1997. – IV, 57с. – (Державний стандарт України).
6. Морозов С.С. Инженерно-геологическая характеристика лессовых пород нижнего Приднестровья / С.С. Морозов, Е.Р. Пантелева // Институт геологических наук. - К.: Наукова думка. – С. 140-146.
7. Трусова С.В. Об изучении гранулометрического состава лессовых пород / С.В. Трусова, В.А. Васильев, Л.Ф. Рычнева // Вопросы исследования лессовых грунтов, оснований и фундаментов: сб. научн. трудов. - Вып. 2. - Ростов-на-Дону: Изд. Ростовского инженерно-строительного института, 1969. - С. 73-79.
8. Будівництво у сейсмічних районах України: ДБН В.1.1 – 14:2014 / науковий керівник Ю.І. Немчинов. - [Чинні від 2014-10-01]. – К.: Мінрегіон України, 2014. - VI, – 110 с. – (Будівельні норми України).

REFERENCES

1. E. Sergeev. Engineering geology. Edition of MSU. – M.: 1982, 248 p.
2. V. Ananiev. Technical reclamation of loess soils. Edition of Rostov University. – Rostov-na-Donu.: 1976, 120 p.
3. U. Tugaenko. Processes of soil deformation in the foundation footing, piles and pile foundations: monograph / U. Tugaenko. - Odessa: Astroprint, 2008. – 216 p. Russian language. ISBN 978-966-318-9123.
4. F. Savarenskiy. Engineering geology. The second edition, M.: 1959, 389 p.
5. Soils. Field test methods by piles. DSTU B V.2.1-95 (GOST 5686-94). K.: Ukrarhbudinform. – 1997. – 57 p.
6. S. Morozov. Engineering geological characteristics of loess rocks of the lower Transnistria / S. Morozov, E. Panteleeva. Institute of Geological Sciences, edition of Scientific thought K.: - P. 140-146.
7. S. Trusova. On the study of particle size distribution of loess rocks / S. Trusova, V. Vasiliev, L. Richneva. In the collection Research Questions loess soils, bases and foundations. The second edition. Edition of Rostov Civil Engineering Institute. Rostov-na-Donu. 1969. P. 73-79.
8. DBN V.1.1-12:2006. Construction in seismic regions of Ukraine. – K.: Ministry of Construction of Ukraine, 2006. – 82 p.

Статья поступила в редакцию 19.07.2016 г.