

И.Л. Бойко, к.т.н., доцент

М. Алхассан, аспирант

Т.В. Адеджумо, аспирант

Белорусский национальный технический университет

ГРУНТЫ НИГЕРИИ КАК ОСНОВАНИЯ ФУНДАМЕНТОВ

Приведены характерные для Нигерии грунтовые условия, описаны основные строительные свойства наиболее широко представленных на территории страны грунтов, механизмы их образования, дана оценка грунтов как оснований зданий и сооружений, описаны их физико-механические характеристики.

Ключевые слова: *Нигерия, осадочные, магматические и метаморфические горные породы, грунты, физико-механические свойства.*

I.L. Boiko, k.t.n., dozent

M. Alhassan, aspirant

T.V. Adejumo, aspirant

Білоруський національний технічний університет

ГРУНТИ НИГЕРІЇ ЯК ОСНОВИ ФУНДАМЕНТІВ

Наведено характерні для Нігерії ґрунтові умови, описано основні будівельні властивості найбільш широко представлених на території країни ґрунтів, механізми їх формування, подано оцінку ґрунту як основи фундаментів будівель і споруд, описано їх фізико-механічні характеристики.

Ключові слова: *Нігерія, осадові, магматичні і метаморфічні гірські породи, ґрунт, фізичні та механічні властивості.*

I L. Boiko, Reader, Dr-Ing.

M. Alhassan, post-graduate student

T.W. Adejumo, post-graduate student

Belarusian National Technical University

SOILS OF NIGERIA AS BASES FOR FOUNDATIONS

The paper presents typical Nigerian soil conditions, the basic engineering properties of the most widely spread soil groups in the country, the mechanisms of their formation, evaluation of these soils as bases for foundations of buildings and other structures, depending on their physico-mechanical properties.

Keywords: *Nigeria, sedimentary, igneous, and metamorphic rocks, soil, physico-mechanical properties.*

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными практическими заданиями. Для рационального проектирования оснований фундаментов зданий и сооружений необходимо провести комплексный анализ инженерно-геологических условий, которые характерны для конкретного региона.

Анализ последних исследований и публикаций, в которых начато решение проблемы. Инженерно-геологические условия, характерные для Нигерии, приведены в работах В. Durotoye, М. Rahaman, К. Shitta, В. Huat, J. Bowles и других [1 – 9].

Выделение не решенных ранее частей общей проблемы, которым посвящается статья. Является необходимым выполнить дополнительный анализ инженерно-геологических условий Нигерии и установить факторы, которые влияют на их физические и механические свойства.

Поэтому за **цель работы** принято привести характерные для Нигерии грунтовые условия, описать основные строительные свойства наиболее широко представленных

на территории страны грунтов, механизмы их образования, дать оценку грунтов как оснований зданий и сооружений, описать их физико-механические характеристики.

Изложение основного материала исследований. Нигерия – западноафриканская страна, расположенная в тропической зоне (рис. 1) в непосредственной близости к экватору. На северо-востоке страны расположено озеро Чад, на юге – омывается водами Гвинейского залива Атлантического океана, а север расположен на южной окраине пустыни Сахары. Площадь Нигерии составляет 923768 км², население по сведениям ООН – около 160 миллионов человек. Основным источником доходов – нефтедобыча. Страна – один из основных поставщиков нефти в [Западную Европу](#), занимает пятое место по поставкам сырой нефти в [США](#). Нефтедобыча определяет развитие промышленности и строительной отрасли страны. Неразвитая сеть дорог создает трудности для подвоза строительных материалов, оборудования и конструкций, а в сочетании с недостаточной изученностью геологических условий обширных территорий страны приводит к неоправданным затратам при устройстве фундаментов. В этих условиях является актуальным изучение грунтовых условий страны с целью использования имеющегося опыта других стран по применению рациональных конструкций фундаментов.

Климат страны жаркий, тропический, влажный на юге и полусухой на севере. В климате страны преобладают влажные и сухие (междодевые) периоды года. Сезонные дожди формируются под влиянием юго-западных муссонных ветров с моря и тёплого сухого пыльного северо-восточного пассата, называемого “гаматтан”, со стороны пустыни Сахара. Геоморфология грунтов Нигерии и четвертичная история их формировалась под влиянием интенсивности и периодичности дождей.

Грунты Нигерии сложены осадочными и кристаллическими породами, распределенными по территории страны в почти равных пропорциях [1-5] (рис. 2).

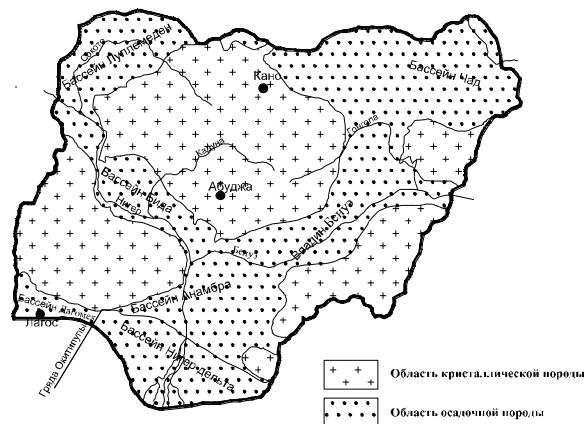
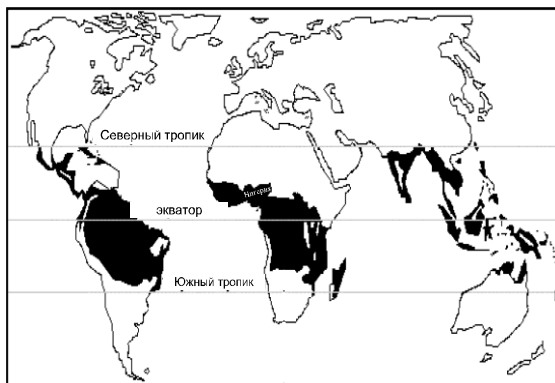


Рисунок 1 – Тропический регион мира Рисунок 2 – Геологические формации в Нигерии

Рельеф в зоне распространения кристаллических пород представлен обширными пятнами равнин, над которыми возвышаются крутые склоны холмов. Высота холмов колеблется от нескольких метров, достигая в некоторых местах более 600 метров.

Сформированы холмы стойкими к выветриванию горными породами. Образование их связано с процессами выветривания и эрозией окружающих пород в условиях влажного тропического климата. Накопление продуктов эрозии горных пород происходило в междуречьях крупных рек.

Породами, слагающими холмы, являются старые и молодые граниты и кварциты [1].

Характерным рельефом участков, занимаемых осадочными породами, являются обширные плоские и очень пологие наклонные равнины, которые разделены остатками

плоских, покрытых латеритовыми грунтами холмов. Высота этих холмов достигает 300 м [2].

Климатические условия тропического региона определяют формирование осадочных грунтов, образование которых происходит в основном путем процесса химического выветривания магматических, осадочных и метаморфических горных пород [6]. Имеют место и процессы физического выветривания [7]. Выветренные непеременные материалы образуют элювиальные отложения. Наиболее важными конечными продуктами выветривания являются глины и кварцевые пески. В этом регионе в конечных продуктах выветривания часто присутствует оксид железа. Он придает красноватую, коричневатую и желтоватую окраску грунтам, обычно называемым “латеритами” [1]. Наиболее распространены в Нигерии глинистые грунты.

Часто встречающимися элювиальными грунтами Нигерии являются суглинки и глины, содержащие оксиды железа и феррасолы, имеющие схожие физико-механические характеристики.

Тропический климат страны способствовал процессам глубокого выветривания горных пород и образованию пологих склонов, мощность продуктов выветривания на которых составляет 30 м от поверхности, а в трещиноватых породах и более. В более засушливой северной части Нигерии мощность слоев грунта, сложенных продуктами выветривания, достигает не более 15 м. Состав и характеристики элювиальных грунтов во многом зависят от состава горных пород, из которых они сформированы [2].

Влияние на свойства элювиальных грунтов как оснований фундаментов оказывает не только состав их материнских (коренных) пород, но и текстура, состоящая из различных слоев, залегающих почти параллельно поверхности земли. Эти горизонты генетически связаны и отражают процессы выветривания. Текстура элювиальных грунтов является важным аспектом, оказывающим значительное влияние на строительные свойства грунтов основания. Геологические разрезы отражают степень выветривания грунтов по глубине, начиная от коренных пород к умеренно и чрезвычайно выветренным породам и заканчивая полностью выветренными породами, растительными грунтами и гумусом верхнего слоя почвы. Геологические разрезы могут значительно различаться в зависимости от типов и состава материнских пород, скорости эрозии, зависящей от региональных климатических условий [9]. Рисунок 3 демонстрирует постепенный переход на инженерно-геологическом разрезе от коренной породы до полностью выветренного грунта.

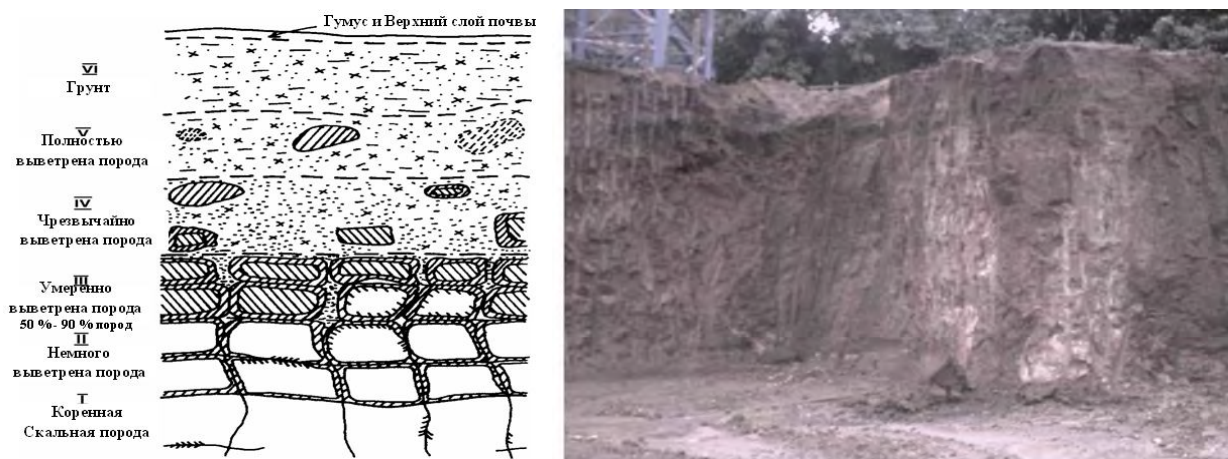


Рисунок 3 – Типичный геологический разрез для тропического климата Нигерии

Элювиальные грунты имеют лучшие строительные свойства в сравнении с делювиальными, поэтому использование их в качестве оснований фундаментов более предпочтительно [7].

Делювиальные грунты (слаборазвитые и гидроморфные) наиболее широко распространены в Нигерии вдоль берегов рек и прибрежных районах.

В северо-восточной части страны, в прибрежной зоне озера Чад, встречаются относящиеся к тропическим элювиальным грунтам вертисоли, отличительная способность которых является значительное набухание или уменьшение в объеме при изменении влажности.

Основные типы грунтов Нигерии и их распространение на территории страны представлено на рисунке 4 [8].

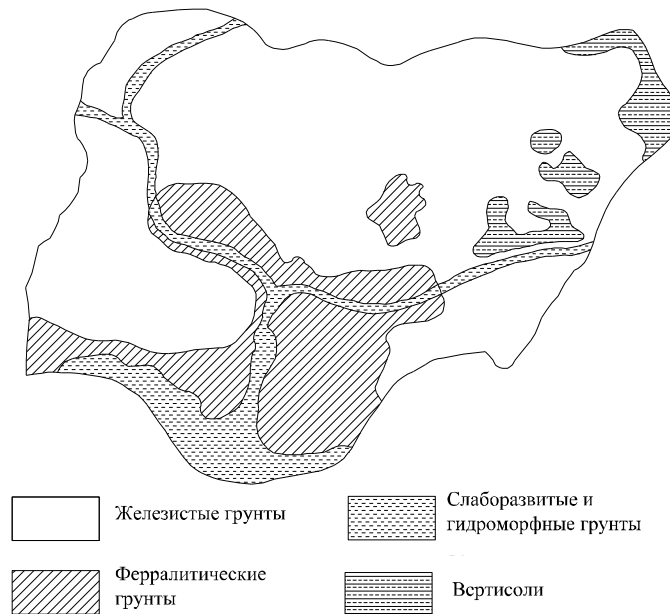


Рисунок 4 – Типы грунтов Нигерии и их распространение на территории страны

На территории страны можно выделить четыре группы грунтов:

- слабые грунты (слаборазвитые и гидроморфные);
- вертисоли (значительно изменяющие объем при изменении влажности);
- ферралитические грунты (суглинки и глины с достаточной несущей способностью);
- железистый тропический грунт (с высокой несущей способностью).

Для классификации грунтов как оснований фундаментов в Нигерии в большинстве источников, освещающих их физико-механические свойства, используется единая система классификации грунтов USCS. В то же время опыт применения рациональных конструкций фундаментов, накопленный отечественными учеными, предполагает использование классификации грунтов по ГОСТ 25100-95. В связи с этим потребовалось установить соответствие между этими системами классификации. Полученные результаты приведены в таблице 1.

Далее физико-механические свойства грунтов приводятся в соответствии с классификацией их по ГОСТ 25100-95.

Таблица 1 – Соответствие классификации грунтов по USCS и ГОСТ 25100-95

Разновидность	По USCS		По ГОСТ 25100-95				
	Размер зерен,	Число пласти	Размер зерен, частиц d, мм	Число пласти	Показатель	Плотность	Коэффициент пористости,

грунтов		частиц d, мм (содержание зерен, частиц, % по массе)	чности, J _p , %	(содержание зерен, частиц, % по массе)	ности, J _p	текуче-сти, J _L	скелета грунта, ρ _d г/см ³	e
Пески	гравелистый	75>d>4,75 (>50%)	–	d >2 (>25%)	J _p < 0,01	–	–	0,55 ≥ ρ _d ≥ 0,70
	крупный	4,75>d>2 (>50%)	–	d >0,50 (>50%)		–	–	
	средней крупности	2> d>0,425 (>50%)	–	d >0,25 (>50%)		–	–	
	мелкий	0,425>d>0,075 (>50%)	–	d >0,10 (≥75%)		–	–	0,60 ≥ ρ _d ≥ 0,75
	пылеватый	0,075>d>0,002 (>50%)	–	d >0,10 (<75%)		–	–	0,60 ≥ ρ _d ≥ 0,80
Глинистые	супесь	0,425 ≤ d ≤ 2 (≥50%) глинистых частиц (3–10%)	4...7	0,5 ≤ d ≤ 2 (50% ≤ ≥50) глинистых частиц (3–10%)	0,01 ≤ J _p < 0,07	0 ≤ J _L ≥ 1	1,20 ≥ ρ _d ≥ 2,50	–
	суглинок	0,425 ≤ d ≤ 2 (≥40%) глинистых частиц (10–30%)	>7	0,5 ≤ d ≤ 2 (40% ≤ ≥40) глинистых частиц (10–30%)	0,07 < J _p ≤ 0,17	0 ≤ J _L ≥ 1	1,20 ≥ ρ _d ≥ 2,50	–
	глина	0,425 ≤ d ≤ 2 (<40%) глинистых частиц (>30%)	>10	0,5 ≤ d ≤ 2 (40% ≤ ≥40) глинистых частиц (>30%)	J _p > 0,17	0 ≤ J _L ≥ 1	1,20 ≥ ρ _d ≥ 2,50	–

Слабые грунты распространены вдоль рек и в прибрежной зоне океана. Представлены кварцевыми песками в смеси с глинами, состоящими из каолинита и гидрослюды. Физические и механические свойства слабых грунтов имеют значительные отличия, поскольку охватывают различные генетические группы [8, 9]. Недавние отложения наиболее часто являются слабыми грунтами и могут залегать на значительную глубину. Такие грунты имеют высокую пластичность и невысокую прочность, что ограничивает их использование в качестве основания плитных фундаментов. Исследование органических глин в районе Лагоса показало, что их физико-механические характеристики лежат в следующих пределах: природная влажность $W=15 - 120$ %; влажность на границе текучести $W_L=20 - 150$ %; влажность на границе раскатывания $W_p=10 - 50$ %; удельный вес частиц $\gamma_s=25,0 - 26,0$ кН/м³; удельное сцепление $C=3,0 - 31,0$ кПа; угол внутреннего трения $\phi=0 - 7^\circ$; удельный вес при природной влажности $\gamma_b=16 - 19$ кН/м³; коэффициент пористости $e=0,65 - 1,2$; степень влажности $S_r=0,55 - 1$; модуль деформации $E=6 - 16$ МПа.

Вертисоли представлены черными тяжелыми глинистыми грунтами, сформировавшимися в относительно сухом саванновом климате и состоящими из пород, богатых кальцием. Механические свойства вертисолей определяет преобладание в их составе глинистых частиц из монтмориллонита. Их отличает низкая водопроницаемость, высокая пластичность, набухание и усадка. При исследовании вертисолей северо-восточной Нигерии были определены следующие пределы физико-механических характеристик: природная влажность $W=8 - 40$ %; влажность на границе текучести $W_L=78 - 93$ %; влажность на границе раскатывания $W_p=21 - 31$ %; показатель текучести $I_L=47 - 72$ %; удельное сцепление $C=120 - 220$ кПа; угол внутреннего трения $\phi=4 - 12^\circ$; линейные деформации набухания – 11 – 21 %; удельный вес частиц $\gamma_s=25,0 - 25,6$ кН/м³; набухание без приложения нагрузки – 50 – 90 %; давление набухания – 120...130 кПа; удельный вес при природной влажности $\gamma_b = 19 -$

21 кН/м³; коэффициент пористости $e=0,35 - 1,3$; степень влажности $S_r=0,5 - 1$; модуль деформации $E=7 - 18$ МПа.

Использование вертисолей в качестве основания фундаментов приводит к недопустимым деформациям, появлению трещин в надземных конструкциях и развитию аварий зданий и сооружений даже при применении конструктивных мер, компенсирующих неравномерность осадок. В силу этого вертисоли в основании фундаментов заменяются другими грунтами с хорошими строительными свойствами, либо прорезаются сваями.

Железистые и ферралитические грунты широко распространены в Нигерии и относятся к надежным основаниям. Это, как правило, плотные элювиальные глинистые грунты, в которых с увеличением глубины происходит постепенный переход от полностью выветренного грунта к коренной породе. В разрезе часто встречаются выщелоченные или осажденные в нем в виде пятен конкреций или латеритового гравия свободные оксиды железа. Этот процесс называется латеритизацией и является обычным в тропиках. Такой грунт в основном состоит из каолинита, остаточного кварца и свободных оксидов железа, преобразовавшихся в неактивные формы [8]. Их обычно называют красным тропическим грунтом и считают хорошим основанием. Они являются грунтами средней пластичности и не подвержены набуханию и усадке благодаря составу слагающих их минералов. При исследовании железистых и ферралитических грунтов Нигерии следующие пределы физико-механических характеристик были определены: природная влажность $W=6,55 - 38$ %; влажность на границе текучести $W_L=36 - 50$ %; влажность на границе раскатывания $W_p=18 - 44$ %; показатель текучести $I_L=6 - 26$ %; удельный вес частиц $\gamma_s=25,3-27,0$ кН/м³; удельное сцепление $C=24 - 140$ кПа; угол внутреннего трения $\varphi=18 - 26^\circ$; удельный вес при природной влажности $\gamma_b=17 - 21$ кН/м³; коэффициент пористости $e=0,5-0,8$; степень влажности $S_r=0,3 - 1$; модуль деформации $E=8 - 29$ МПа.

Предельное давление для такого грунта составляет 240 – 310 кПа, а при большом содержании латеритового гравия до 500 кПа.

Проведенный анализ грунтовых условий Нигерии позволяет сделать следующие **выводы**:

- инженерно-геологические условия площадок представлены грунтами, строительные свойства которых меняются в значительных пределах;
- на территории страны можно выделить четыре основные группы грунтов: слабые (слаборазвитые и гидроморфные); вертисоли (значительно изменяющие объем при изменении влажности); ферралитические (суглинки и глины, с достаточной несущей способностью); железистые тропические грунты с высокой несущей способностью;
- на строительные свойства грунтов решающее влияние оказали состав горных пород, из которых они сформировались, климат и рельеф местности, структура и текстура грунта;
- значительное разнообразие строительных свойств грунтов обуславливает необходимость выбора типа, конструкций и технологий устройства фундаментов, обеспечивающих надежную эксплуатацию зданий и наименьшие затраты с учетом физико-механических свойств грунтов основания.

Литература

1. Durotoye, B. *Geomorphology and Quaternary Deposits of Nigeria* / B. Durotoye // *Tropical Soils of Nigeria in Engineering Practice* / edited by S.A. Ola – A.A. Balkema-Rotterdam, 1983. – P. 1 – 17.
2. Rahaman, M.A. *Sedimentary and Crystalline Rocks of Nigeria* / M.A. Rahaman, S. Malomo // *Tropical Soils of Nigeria in Engineering Practice* / edited by S.A. Ola – A.A. Balkema. – Rotterdam, 1983. – P. 18 – 38.

3. Shitta, K.A. *Lithostratigraphy of Nigeria-Review* / K.A. Shitta // *Proceedings of 32nd seminar on Engineering Geothermal Reservoir, Stenford University*. – Stenford, California – 2007. – P. 1 – 9.
4. McCurry, P.A *General Review of the Geology of the Precambrian to Lower Palaeozoic Rocks of Northern Nigeria* / P. McCurry // *Geology of Nigeria-2nd edition* / edited by C.A. Kogbe. Abiprint & Pak Ltd. Ibadan, Nigeria, 1989. – P. 13 – 38.
5. Rahaman, M.A. *Review of the Basement Geology of South-western Nigeria* / M.A. Rahaman // *Geology of Nigeria – 2nd edition* / edited by C.A. Kogbe. Abiprint & Pak Ltd. Ibadan, Nigeria, 1989. – P. 39 – 56.
6. Huat, B.B.K. *Foundation Engineering in Tropical Soils* / B.B.K. Huat // *Foundation Engineering: Design and Construction in Tropical soils* / B.B.K. Huat, F.Hj. Ali- Toylor & Francis Group, LLC- London, 2006. – P. 1 – 11.
7. Bowles, J.E. *Analysis and Design of Foundations* / J.E. Bowles // 5th ed. – McGraw-Hill Company. – New York, 1997. – 1207 p.
8. Malomo, S. *Weathering and Weathering Products of Nigerian Rocks – Engineering Implications* / Malomo, S. // *Tropical Soils of Nigeria in Engineering Practice* / edited by S.A. Ola. – A. A. Balkema- Rotterdam-1983. – P. 39 – 60.
9. Carter, M. *Correlation of Soil Properties* / M. Carter, S. // Bentley: Pentech press publishers: London, 1991. – 130 p.

Надійшла до редакції 01.10.2012
© И.Л. Бойко, М. Алхассан, Т.В. Адеджумо