

ПОРИСТОСТЬ КАК ИНДИКАТОР ИЗМЕНЕНИЯ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ПРИМЕРЕ СТРОИТЕЛЬСТВА ЗДАНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ ОАО «КБХА» ГОРОДА ВОРОНЕЖА

И. А. Косырев

ООО «Мостижсервис Плюс», г. Воронеж

Поступила в редакцию 7 сентября 2012 г.

Аннотация. По результатам инженерно-геологических изысканий рассмотрены четвертичные аллювиальные отложения четвертой надпойменной террасы реки Дон (a4QII_{dn}) на территории города Воронежа. По данным лабораторных и микроскопических исследований выявлены особенности физических и механических характеристик в пределах площадки строительства зданий на территории ОАО «КБХА». Также уделено особое внимание подходу к изучению песков как стандартными, так и более расширенными методами изучения вещества. Предлагается в соответствии с действующими ГОСТ в составе стандартных лабораторных исследований добавить микроскопические методы исследования, а также графические способы выражения при статистических подсчётах.

Ключевые слова: грунт, инженерно-геологические изыскания, аллювиальные отложения, лабораторные исследования, гранулометрический анализ, микроскопия, морфология частиц, статическое зондирование, статистика, пористость, коэффициент пористости, влажность, плотность, осадка грунта.

Abstract. According to the results of engineering-geological studies examined the quaternary alluvial deposits of the fourth terrace above the floodplain of the Don River (a4QII_{dn}) in the city of Voronezh. According to laboratory and microscopic studies revealed features of the physical and mechanical properties within the area of construction of buildings in the territory of "KBKhA." Also paid special attention to the approach of studying the sand with both standard and more advanced methods of studying the matter. It is proposed in accordance with the Standard as part of routine laboratory studies add microscopic methods, and graphical means of expression for the statistical calculations.

Key words: soil, geological engineering, alluvial deposits, laboratory tests, granulometric analysis, microscopy, particle morphology, static sensing, statistics, porosity, void ratio, moisture content, density, soil sediment

Введение

Исследуемый участок располагается на территории г. Воронежа ОАО «КБХА» по адресу ул. Ворошилова, 20, где широко распространены четвертичные аллювиальные отложения. В структурно-геоморфологическом отношении участок приурочен к четвертой надпойменной террасе р. Дон (a4QII_{dn}).

Целью инженерно-геологических изысканий являлось изучение грунтов как взаимодействие объектов строительства с геологической средой.

В соответствии с программой работ было пробурено 10 скважин по контуру проектируемых зданий, глубиной до 12 м, среднее расстояние между выработками 25–40 м (рис. 1), а так же были отобраны пробы (монолиты) в количестве

10 шт. песка среднего [1], кварцевого, маловлажного для лабораторных исследований.

Проблематика исследований

Понятие «грунт» до сих пор является неоднозначным, вокруг него ведётся много споров, и до конца вопрос определения этого термина ещё не решен. По нашему мнению наиболее удачным представляется высказывание академика Е. М. Сергеева [2, с. 11] о том, что под грунтом следует понимать любые горные породы и почвы, которые изучаются как многокомпонентные системы, изменяющиеся во времени, с целью познания их как объекта инженерной деятельности человека. Далее по тексту под понятием «грунт» будем использовать именно это суждение.

Территория города Воронежа находится в зоне распространения аллювиальных отложений реки Дон и реки Воронеж, где крайне не выдержанно распространены грунты аллювиальных свит, при

этом возникают трудности при прогнозе инженерно-геологических условий для площадок строительства зданий и сооружений. Так же при инженерно-геологических изысканиях до сих пор ос-

тается малоизученной роль влияния физических характеристик на механические свойства грунтов, такие как форма, размерность, минеральный состав частиц на пористость в грунтах.

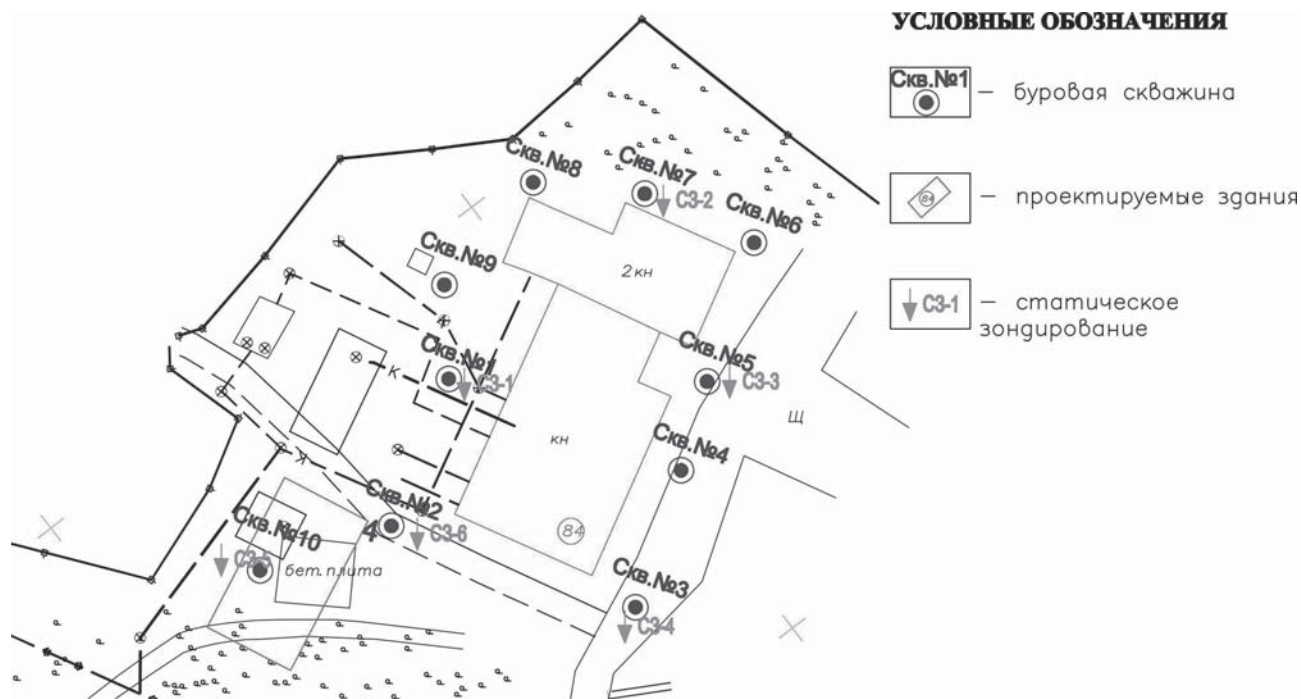


Рис. 1. Карта-схема фактического материала. Масштаб 1 : 500

В связи с этим в составе инженерно-геологических изысканий дополнительно проводятся научно-исследовательские работы для детального изучения грунтов в пределах площадок строительства.

Методика исследований

В составе стандартного комплекса лабораторных исследований [3] были выполнены определения физических [4] свойств грунта, такие как: влажность – W , плотность – r , плотность частиц – r_s , гранулометрический (зерновой) состав грунта – % (табл. 1), а также микроскопия. Механические свойства грунта определялись полевым методом статического зондирования установкой ПИКА-17.

Физические свойства

Влажность – определялась как отношение массы воды, удаленной из грунта высушиванием до постоянной массы, к массе высушенного грунта;

Плотность – методом взвешивания в воде;

Плотность частиц – пикнометрическим методом.

Пористость рассматривалась отдельно (см. далее по тексту). Более детально методика определения физических свойств представлена в ГОСТ 5180-84. К полученным результатам были применены методы статистической обработки [5], где изучаемый песок представлен в виде ИГЭ 2 (инженерно-геологический элемент). Нормативные и расчётные значения физических свойств представлены в таблице 1.

Гранулометрический анализ выполнялся ситовым методом с ситами размерностью > 1 мм, 1–0,5 мм, 0,5–0,25 мм, 0,25–0,1 мм, 0,1 мм – 0,05 мм. По полученным данным можно сделать вывод, что пески ИГЭ 2 являются средней крупности [1], т.к. преобладающей фракцией является 0,5–0,25 мм ($> 50\%$) (рис. 2).

Минералогический состав песка представлен кварцем около 95 % (см. рис. 3а) и единичными зёрнами полевых шпатов и ильменита (рис. 3б). Такое соотношение минералогического состава связано напрямую с механизмом переноса песчаного материала водными потоками. Прочность кварца, на истирание исходя из твёрдости выше, чем у полевых шпатов и ильменита, поэтому дробление и обработка кварцевых частиц при пе-

реносе протекает менее энергично, и они накапливаются в большем количестве.

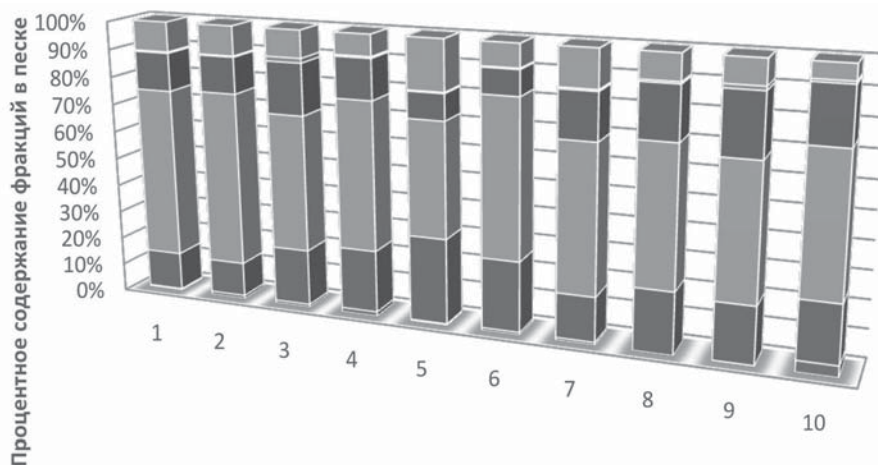
Частицы кварца имеют две морфологические особенности (рис. 3):

а) в верхней части рисунка – зёрна окатанные, мутные, округлой формы;

б) в нижней части рисунка – зёрна слабо окатанные, округлые, овально-вытянутые.

Таблица 1

Лаб. №	Номер выработки	Глубина отбора, м	Влажность, %	Плотность, г/см ³		Плотность частиц грунта, г/см ³	Пористость, %	Коэффициент пористости	Коэффициент влажности
				природная плотность	сухого грунта				
1	1	6	10	1,86	1,69	2,61	35,2	0,54	0,48
2	2	7	9	1,76	1,61	2,69	40	0,67	0,36
3	3	8	7,4	1,79	1,67	2,68	37,8	0,61	0,33
4	4	7	8	1,72	1,59	2,7	41	0,7	0,31
5	5	10	7	1,97	1,84	2,62	29,7	0,42	0,43
6	6	5	5	1,98	1,89	2,65	28,8	0,41	0,33
7	7	7	8,5	1,84	1,7	2,69	37	0,59	0,39
8	8	6	9,5	1,94	1,77	2,63	32,6	0,48	0,52
9	9	8	9,3	1,79	1,64	2,67	38,7	0,63	0,39
10	10	9	9,1	1,72	1,58	2,69	41,4	0,71	0,35
Кол. опред.		10	10	10	10	10	10	10	10
Среднее знач.		8,3	1,8	1,7	2,7	36,2	0,57	0,4	
Ср. кв. откл.		1,5	0,1	0,1	0	4,51	0,11	0,1	
Коэф. вар.		0,2	0,1	0,1	0	0,12	0,19	0,2	
min		5	1,7	1,6	2,6	28,8	0,41	0,3	
max		10	2	1,9	2,7	41,4	0,71	0,5	



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
■ <0,05	10,7%	10,6%	9,9%	7,6%	18,0%	8,2%	13,4%	9,1%	8,7%	5,4%
■ 0,1-0,05	0,5%	0,4%	1,7%	0,6%	0,4%	0,4%	0,6%	0,7%	1,4%	0,9%
■ 0,25-0,1	13,8%	13,2%	18,8%	14,6%	9,4%	9,0%	16,6%	18,8%	21,9%	19,7%
■ 0,5-0,25	60,8%	62,4%	49,3%	53,4%	41,2%	56,4%	52,6%	49,5%	47,6%	49,5%
■ 1-0,5	13,6%	12,2%	20,2%	22,2%	30,4%	25,0%	15,8%	21,9%	20,1%	20,5%
■ >1	0,6%	1,2%	1,1%	1,6%	0,6%	1,0%	1,0%	0,0%	0,3%	4,0%

Рис. 2. Объёмная нормированная гистограмма процентного содержания фракций в песке по данным гранулометрического анализа

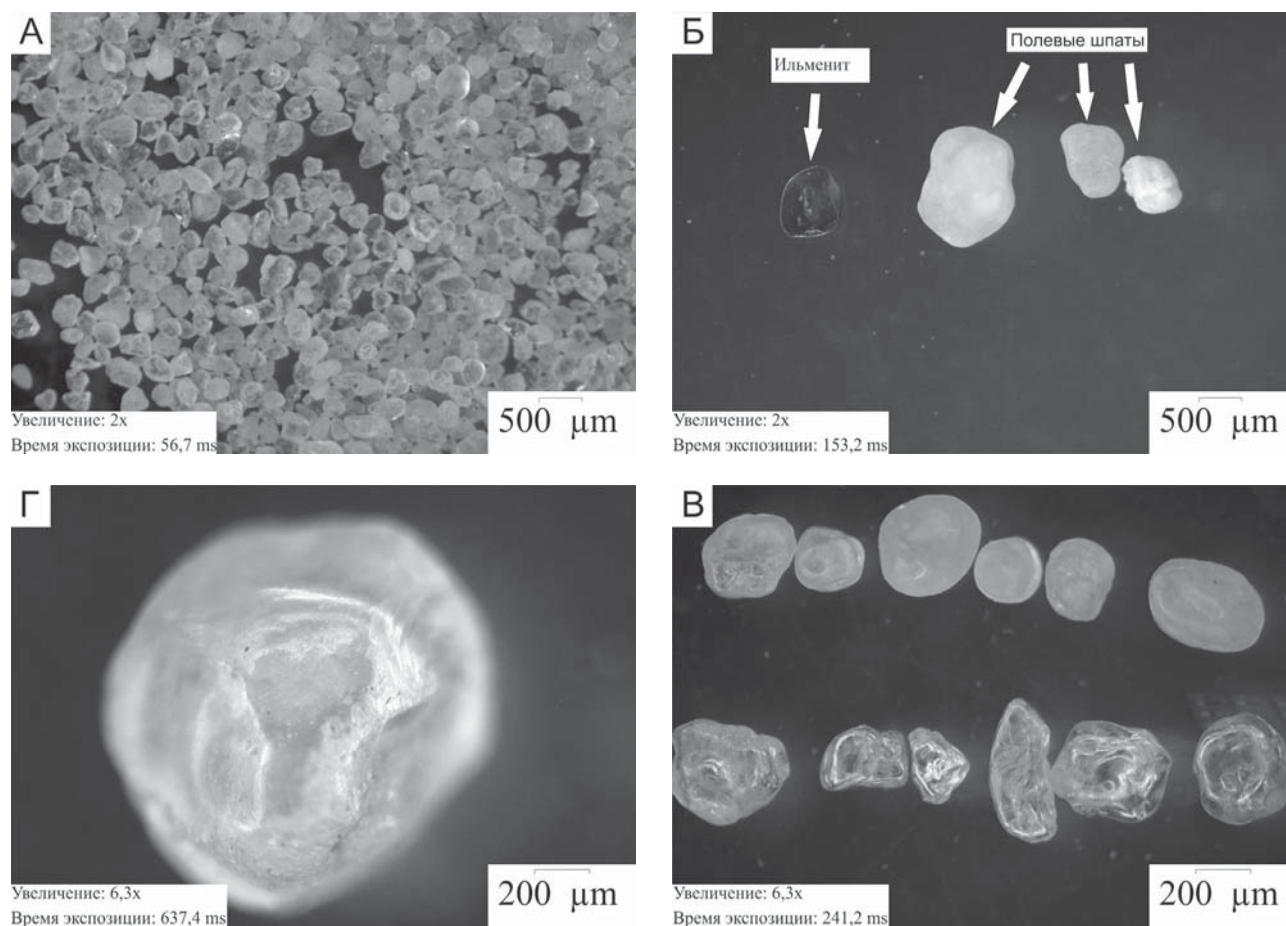


Рис. 3. Микроскопические снимки песка ИГЭ 2: А) обр. № 3 фракция 0,1–0,25 мм; Б) обр. № 3 фракция 0,25–0,5 мм; В) обр. № 6 фракция 0,25–0,5 мм; Г) обр. № 6 фракция 0,5–1 мм

Общее процентное соотношение частиц в массе грунта составляет примерно 50/50 % (рис. 3А) во всех фракциях. На частицах песка видны следы химического растворения (рис. 3В, рис. 3Г) водными растворами, под их воздействием полевые шпаты и ильменит интенсивнее разрушаются. Такие морфологические различия частиц кварца могут быть связаны с разными источниками привноса материала. Например, помимо аллювиальных могут участвовать ещё флювиогляциальные процессы.

По экспериментальным данным В.В. Охотина [6, с. 67] определено, что сопротивление сдвигу несвязных грунтов возрастает по мере увеличения размеров слагающих частиц. Прочность для окатанного кварца ниже, чем у остроугольного. В тоже время по мере уменьшения размера частиц указанные границы сглаживаются. Минеральный состав, конечно, сказывается на прочности несвязных грунтов при данном размере частиц в зависимости от формы, шероховатости поверхности и сопротивления дроблению последних. Шеро-

ховатость поверхности приводит к возрастанию прочности грунта [7]. Изменение гранулометрического состава грунтов вызывает изменение их свойств.

По мнению Е. Г. Чаповского [8] от размера частиц дисперсных грунтов зависит величина свободной энергии. С уменьшением размеров частиц возрастает их суммарная поверхность. Общее представление о суммарной поверхности даёт так называемая удельная поверхность всех частиц, заключённых в кубическом сантиметре или в одном грамме грунта, т.е. эта поверхность, являясь поверхностью раздела двух различных сред (твёрдое – жидкое), обладает большим запасом энергии, обуславливающий разнообразные поверхностные явления в дисперсных грунтах.

Пористость (ИГЭ 2) как индикатор изменения инженерно-геологических условий

Важным физическим свойством грунтов является пористость (n), т.е. плотность упаковки частиц, выражающим их физическое состояние. Она

характеризует объём пор в единице объёма грунта и выражают её в долях единицы или в процентах от полного объёма грунта. Пористость является величиной переменной, т.е. составляет неудобства при расчётах. Более удобной характеристикой пористости грунта является коэффициент пористости грунта e , равный отношению объёма пор к твёрдой части грунта, остающийся постоянным при уплотнении [9, с. 339]. Значения коэффициента пористости рассчитываются по формуле, $e = \frac{ps - pd}{pd}$, где ps – плотность частиц, а pd – плотность (скелета) сухого грунта.

По расчётным данным, коэффициент пористости был выражен в виде карты с изолиниями изучаемого массива (рис. 4). Видно, что значения имеют неоднородный характер. В центре рисунка преобладающая изолиния $e = 0,6$, в нижнем правом и левом углу, а также в верхнем левом заметное повышение значений $e = 0,6-0,77$, в правом верхнем углу наблюдается обратная зависимость от центра $e = 0,6-0,48$.

Пористость песчаных грунтов изменяется в довольно широких пределах, в зависимости не только от морфологии частиц, но и от плотности сложения и степени характера цементации.

Таблица 2

Таблица прочностных и деформационных характеристик ИГЭ 2

Номер ИГЭ	Наименование грунта	Плотность сложения песков	Сопротивление по бок. поверхности, КПА			Сопротивление на конус, МПА			Угол внутреннего трения, град.	Сцепление, КПА	Модуль деформации, МПА
			нормативное значение	коэффиц. вариации	количество	нормативное значение	коэффиц. вариации	количество			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2	Пески средние	Средней плотности	73,9	0,25	206	8,84	0,35	206	32	0	26

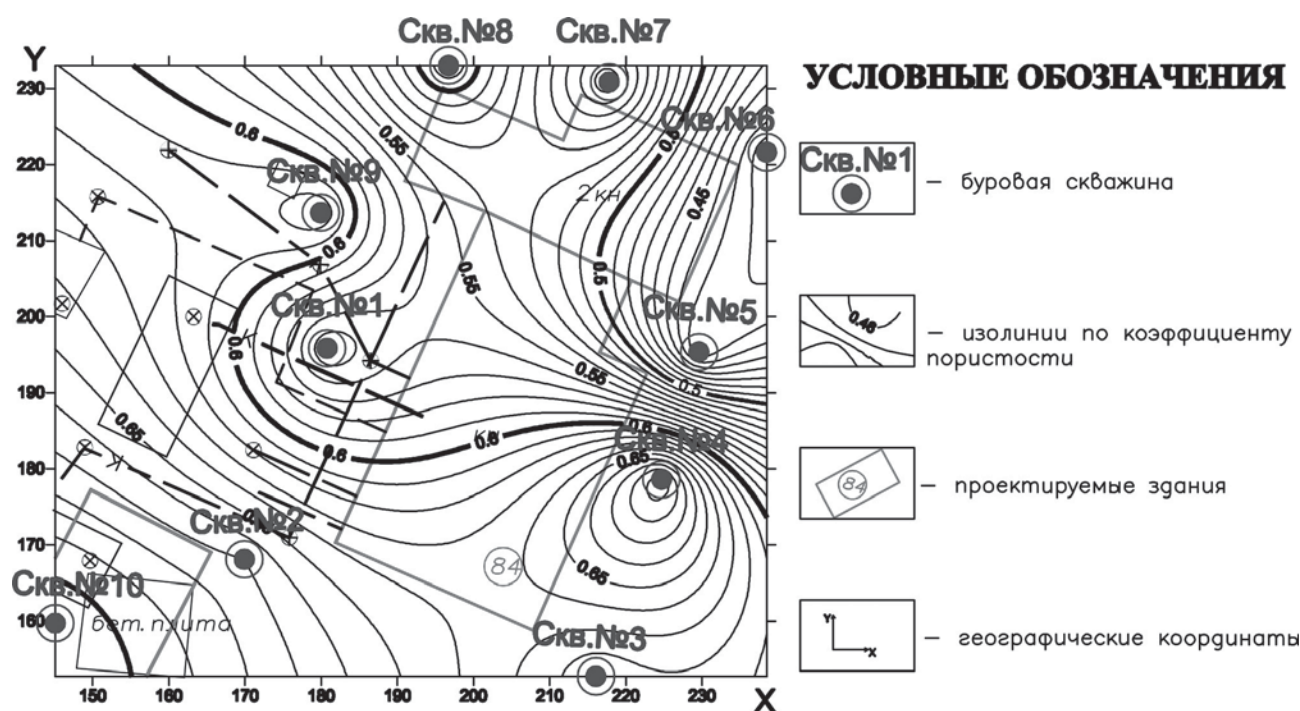


Рис. 4. Карта-схема изолиний коэффициента пористости на изучаемом участке. Масштаб 1 : 500

Под *плотностью сложения* понимается такое состояние грунта, расположение слагающих его элементов, которое возникло в процессе его формирования без нарушения структурных связей и природной влажности. Плотность сложения, прочностные и деформационные характеристики (табл. 1) песков ИГЭ 2 определялись полевым методом статического зондирования [10] зондом Пика – 17. Сопротивление на конус зонда q_3 для песков в среднем составляет 8,84 МПа, что относит их к пескам средней плотности сложения. Пористость напрямую зависит от плотности сложения частиц в грунтах. Механическая смесь окатанных и угловатых зерен песка влияет на количество и характер пористости в структуре массива. По мнению Ломтадзе в зависимости от плотности укладки равновеликих частиц округлой (окатанной) формы не зависимо от их размера пористость может изменяться от $n = 26\%$ до $n = 48\%$ (рис. 5А). Соответственно коэффициент пористости в такой идеальной геометрической модели будет изменяться от $e = 0,35$ при самом плотном сложении частиц до $e = 0,92$ при самом рыхлом [9 с. 340]. В нашем случае система выглядит таким образом,

что равновеликие частицы песка ИГЭ 2 округлой и угловатой форм при разных плотностях укладки отличаются от модели В.Д. Ломтадзе. При рыхлой и средней плотности сложения значения пористости ИГЭ 2 ниже, чем у равновеликих частиц округлой формы, а при плотном выше, хотя на рисунке 5Б картина совершенно иная, поры песка ИГЭ 2 значительно больше по величине, чем на рисунке 5А. Если бы частицы грунта были одинаковой величины и округлой формы, то было бы трудно подсчитать, что при разной плотности сложения, пористость в одном случае (рис. 5А) будет минимальной $n \leq 26\%$, а в другом максимальной $n \geq 48\%$. Это, прежде всего, связано с тем, что модель В.Д. Ломтадзе не идеальна, т.к. при уплотнении грунта участвуют все частицы не зависимо от форм и размеров. Таким образом, неоднородность гранулометрического состава, морфология частиц, плотность сложения представляют собой как объекты не однокомпонентной, а многокомпонентной системы пористости. При статистической обработке данных статического зондирования при их средних значениях пески ИГЭ 2 были отнесены как пески средней плотности сложения.

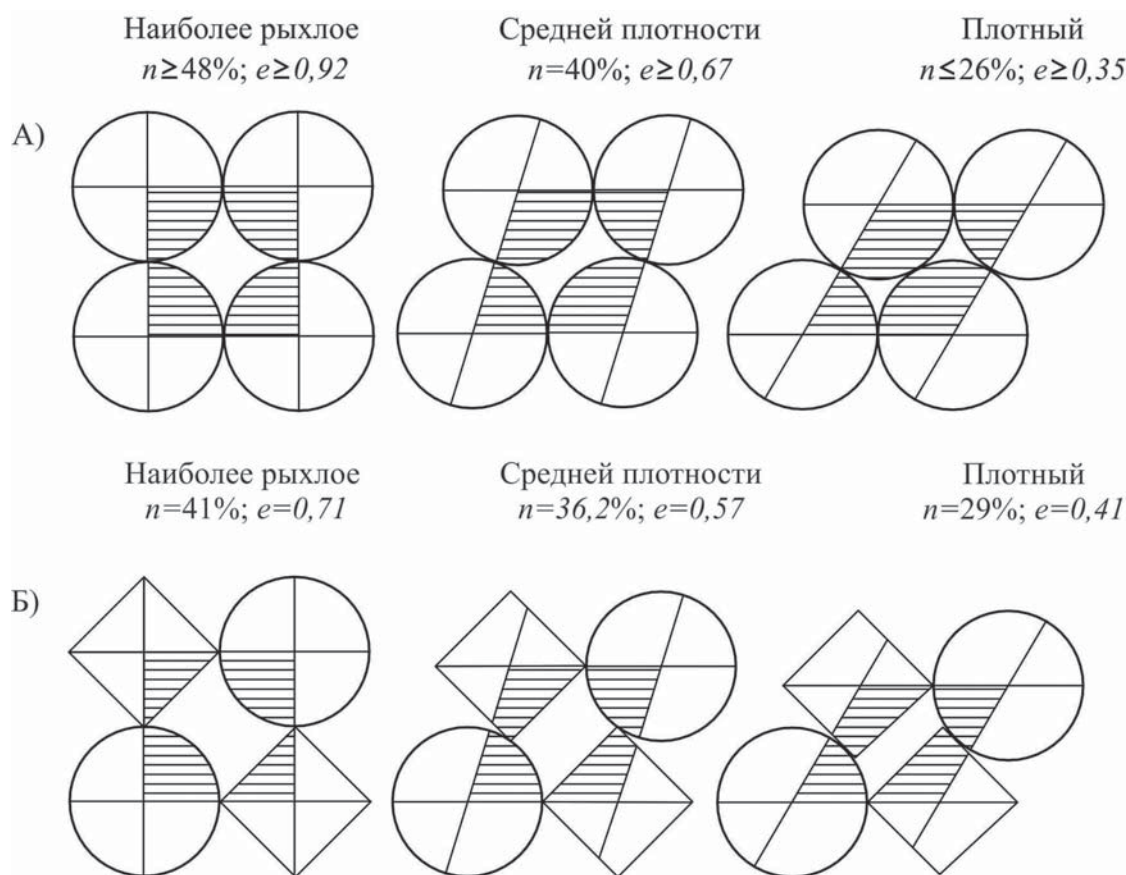


Рис. 5. Изменение плотности сложения и пористости грунта, состоящих из равновеликих частиц: А) округлой формы по В.Д. Ломтадзе; Б) округлой и ромбической форм на примере песка ИГЭ 2

Но при выражении лабораторных данных в виде изолиний коэффициент пористости ИГЭ 2 варьируется от плотного [25–100] $e < 0,55$; средней плотности $e 0,55–0,7$ до рыхлого $e > 0,7$. По нашему мнению использование среднего значения при таких разбросах не целесообразно, т.к. например, при неравномерном распределении в массиве значений пористости, могут возникать неравномерные осадки грунта [11]. Вследствие этого могут появиться сложности при строительстве и эксплуатации зданий и сооружений. Прежде всего осадка представляет собой внешнюю сторону процесса уплотнения и является результатом сближения частиц и уменьшения объёма пор, не сопровождающегося коренным изменением его структуры. При выражении данных коэффициента пористости в виде изолиний можно составить прогноз изменения инженерно-геологических условий под строительство зданий и сооружений.

Заключение

Инженерно-геологические свойства ИГЭ 2 обусловлены, прежде всего, генезисом. На примере песков ИГЭ 2 можно сказать, что физические свойства и минеральный состав напрямую связан с механизмами переноса вещества аллювиальными и возможно флювиогляциальными процессами.

Пористость на примере песка ИГЭ 2 обусловлена, прежде всего: разностью морфологии частиц, однородностью минерального состава и плотностью сложения частиц. Механическая смесь окатанных и угловатых зерен песка влияет на количество и характер пор в структуре массива. Разность значений коэффициента пористости ИГЭ 2 обусловлена, прежде всего, изменением плотности сложения частиц и морфологией частиц песка. Значения коэффициента пористости при лабораторных данных по нашему мнению целесообразней выражать в виде карты с изоли-

ниями, т.к. среднее значения при статистических подсчётах не отображают полную ситуацию инженерно-геологических условий.

Значения пористости песчаных и глинистых грунтов – это одна из основных характеристик, используемых проектировщиками при расчётах осадок грунтов [11] для определения нормативных нагрузок зданий на грунты. С увеличением размера пор в песках увеличивается их водопроницаемость. Сжимаемость грунта тем больше, чем выше значения их пористости, поэтому, например, рыхлые пески легко выдавливаются при приложении к ним нагрузки, т.е. имеют малое сопротивление сдвигу [12, с. 40].

ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 25-100-95. Грунты. Классификация.
2. Сергеев М. Н. Инженерная геология / М. Н. Сергеев. – 2-е изд. – М., 1982. – 248 с.
3. ГОСТ 30416-96. Грунты. Лабораторные испытания. Общие положения.
4. ГОСТ 5180-84. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик.
5. ГОСТ 20522-96. Грунты. Методы статистической обработки результатов испытаний.
6. Охотин В. В. Физико-механические свойства грунтов / В. В. Охотин. – ЛГУ, 1935. – 74 с.
7. Дашко Р. Э. Механика грунтов в инженерно-геологической практике / Р. Э. Дашко, А.А. Каган. – М. : Недра, 1977. – 237 с.
8. Чаповский Е. Г. Инженерная геология. Основы инженерно-геологического изучения горных пород / Е. Г. Чаповский. – М. : Высшая школа, 1975. – 296 с.
9. Ломтадзе В. Д. Инженерная геология. Инженерная петрология / В. Д. Ломтадзе. – 2-е изд. – Л. : Недра, 1984. – 511 с.
10. СП 11-105-97. Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть 1. Общие правила производства работ.
11. СНиП 2.02.01-83*. Основания зданий и сооружений.
12. Фролов А. Ф. Инженерная геология / А. Ф. Фролов, И. В. Коротких. – М. : Недра, 1983. – 333 с.

ООО «Мостижсервис Плюс», г. Воронеж
И. А. Косырев, главный геолог
ufo06@list.ru

JSC Mostizhservice Plus, Voronezh
I. A. Kosyrev, main geologist
ufo06@list.ru