

О.Э. Мейнцер

Учение о подземных водах

Москва
«Книга по Требованию»

УДК 55
ББК 26.3
О-11

O-11 **О.Э. Мейнцер**
Учение о подземных водах / О.Э. Мейнцер – М.: Книга по Требованию, 2024. – 242 с.

ISBN 978-5-458-46543-4

Книга состоит из трех больших глав, в которых с исчерпывающей полнотой разобраны следующие вопросы: условия нахождения подземных вод, типы пород и их водоносные свойства, структуры пород и их влияние на подземную воду. Большое место автор отводит методическим вопросам и описанию опытов по определению пористости пород, их водоотдающей и водоудерживающей способности и т.д. Книга Мейнцера может быть рекомендована в качестве руководства для инженеров-гидрогеологов, для преподавателей вузов при чтении курса гидрогеологии, для почвоведов и агрономов и как учебное пособие для студентов гидрогеологов геолого-разведочных вузов.

ISBN 978-5-458-46543-4

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2024
© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2024

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первозданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.

ГЛАВА ПЕРВАЯ

УСЛОВИЯ ЗАЛЕГАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

ГОРНЫЕ ПОРОДЫ КАК ВМЕСТИЛИЩА ВОДЫ

Породы, слагающие земную кору, только в немногих — и то сомнительных — случаях бывают абсолютно плотными. В них находится много свободных промежутков, называемых пустотами, и эти пустоты являются вместилищами подземных вод, которые частично выходят на поверхность в виде источников или вскрываются колодцами. Существует много видов горных пород, и они сильно различаются между собой по размерам, форме и расположению заключающихся в них пустот, а отсюда и по своей водоносности. Нахождение воды в породах того или иного участка земной коры определяется, следовательно, характером, распределением и структурой слагающих его пород — другими словами, геологией этого участка. Большинство пород имеет многочисленные пустоты очень малых размеров, для некоторых же характерно небольшое количество крупных пустот — таких, как трещины или каверны. Пустоты в породах большей частью сообщаются между собой, так что вода может двигаться по породам, проникая из одной пустоты в другую; но в некоторых породах пустоты в значительной степени разобщены, что создает неблагоприятные условия для циркуляции воды.

Обычно пустоты имеют неправильную форму, причем для разных пород характерны различные типы неправильностей пустот. Различия в породах, отражающиеся на характере пустот, обусловливаются различным минералогическим составом пород и огромным разнообразием геологических процессов, связанных с образованием и позднейшими изменениями горных пород.

ПОРИСТОСТЬ ПОРОД

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕРМИНА (1)

Пористостью пород называется наличие в них свободных промежутков. Некоторые авторы применяли этот термин только к мелким пустотам, которые они называют «порами». Но в сравнении с размерами самой земли даже самые крупные пустоты являются не более как порами, и термин «пористость» гораздо правильнее применять ко всем пустотам, без произвольного ограничения размера. Количество пористости выражается процентным отношением общего объема пустот к полному объему породы. Порода считается насыщенной, если все ее пустоты заполнены водой. В насыщенной породе пористость практически измеряется процентным содержанием воды (по объему).

УСЛОВИЯ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ПОРИСТОСТЬ

В осадочных отложениях пористость зависит главным образом от: 1) формы и расположения составляющих частиц породы, 2) степени отсортированности частиц, 3) цементации и уплотнения, которым подверглась порода после отложения, 4) выноса минерального вещества вследствие растворения циркулирующими водами и 5) разломов в породах, обуславливающих различную трещиноватость. Хорошо отсортированный нецементированный гравий, песок или сilt¹ (пыль и ил) обладают высокой пористостью, независимо от величины их зерен. Но если материал недостаточно отсортирован, то мелкие частицы породы расположатся в промежутках между крупными, еще меньшись — в промежутках между мелкими и т. д., и в результате

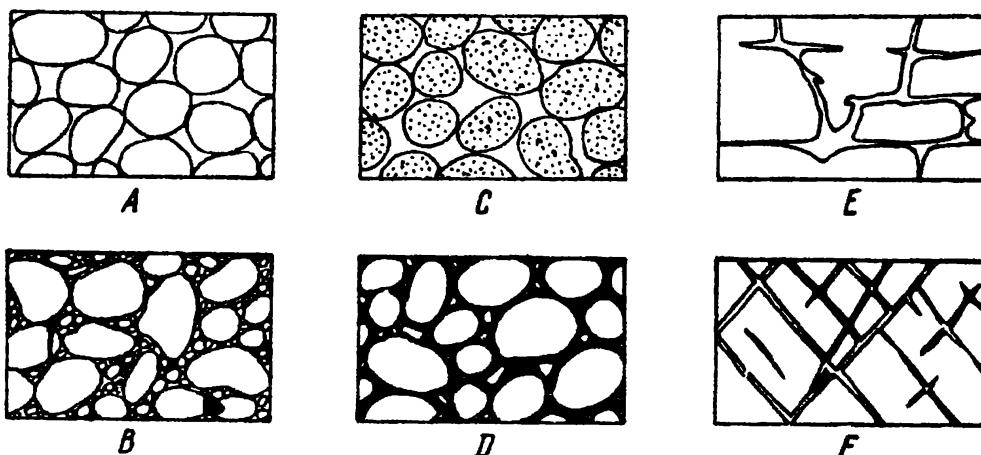


Рис. 1. Схематическое изображение различных типов пустот в породах и зависимость пористости от структуры породы.

A — хорошо сортированная осадочная порода, обладающая высокой пористостью; *B* — малоисортированная осадочная порода, имеющая малую пористость; *C* — хорошо сортированная осадочная порода, состоящая из пористых галек, так что порода в целом имеет очень высокую пористость; *D* — хорошо сортированная осадочная порода, пористость которой уменьшилась вследствие отложения минерального вещества в промежутках; *E* — порода, сделавшаяся пористой вследствие растворения; *F* — порода, сделавшаяся пористой вследствие образования трещин.

пористость сильно уменьшится (рис. 1*A* и 1*B*). Валунная глина, представляющая неотсортированную смесь, отложенную ледником, и содержащая частицы очень разнообразных размеров, может иметь очень малую пористость, в то время как отмытые гравий и песок, происшедшие из той же самой породы, но отсортированные текущими водами, будут обладать большой пористостью. Хорошо отсортированный нецементированный галечник состоит иногда из галек, которые сами по себе пористы, так что порода в целом обладает очень высокой пористостью (рис. 1*C*). В хорошо сортированных пористых галечниках, песке или сiltе пустоты могут постепенно заполняться отложениями минеральных веществ, выпадающих из циркулирующих растворов, и при некоторых условиях может образоваться практически

¹ Словом *сilt* автор называет мелкозернистую породу с диаметром частиц от 0,05 до 0,005 мм. Так как такие породы у русских авторов называются по-разному, то в дальнейшем везде оставляется *сilt* в понимании Мейнцера. *Прим. ред.*

непроницаемый конгломерат или кварцит, имеющий очень малую пористость (рис. 1D). С другой стороны, в относительно легко растворяющихся породах, например в известняках, даже если они были первоначально плотными, могут образоваться каверны в результате удаления растворенных циркулирующими водами частиц породы (рис. 1E). В твердых хрупких породах — таких, как известняк, твердый песчаник или большая часть изверженных и метаморфических пород — могут создаться крупные пустоты вследствие разломов, вызванных уменьшением объема или деформацией пород, или другими причинами (рис. 1F). Каналы, образованные растворением, и разломы достигают иногда крупных размеров и имеют большое практическое значение, но они редко образуются в таком количестве, чтобы придать по существу плотной породе высокую пористость.

ПОРИСТОСТЬ ЗЕРНИСТЫХ ПОРОД

Зависимость пористости от расположения зерен

Наиболее распространенным типом водоносных пород являются осадочные породы, состоящие из обломков, которые до своего отложения приобрели более или менее окатанную форму. В таких породах вода занимает неправильные промежутки между этими обломками или зернами. Для изучения водоносных свойств таких пород Слихтер (Slichter, 2) впервые теоретически исследовал наиболее простой случай — «идеальный грунт», состоящий из сферических зерен одинакового размера.

Он следующим образом описал условия, создающиеся при таких простых допущениях:

«Чтобы изучить природу пористости, выделим из массы грунта восемь смежных зерен таким образом, чтобы линии, соединяющие их центры, образовали равносторонний параллелепипед или ромбоэдр, как показано на рис. 2,¹ где белыми стержнями указаны положение



Рис. 2. Элемент объема группы шаров, уложенных наиболее плотным способом. Плоские углы 60° и 120° .

¹ Цифры рисунков изменены в данной работе. О. Э. М.

и направление двух пор. Изучая свойства пор этого ромбоэдра, мы тем самым изучим свойства пор всей массы грунта, так как этот ромбоэдр представляет элемент объема, который, будучи повторенным, дает всю массу грунта.

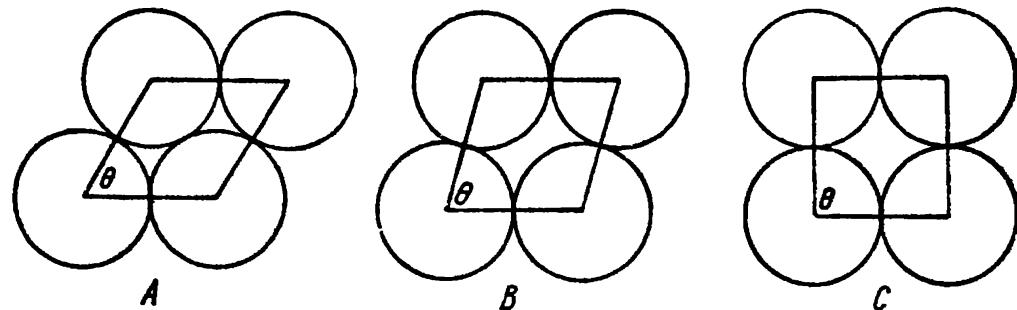


Рис. 3. Разрез четырех смежных шаров одинакового размера.
A — наиболее плотное расположение; *B* — менее плотное расположение; *C* — наименее плотное расположение.

Если зерна в грунте расположены наиболее плотным образом, каждое зерно будет соприкасаться с окружающими зернами в двенадцати точках, и каждый элемент объема будет представлять ромбоэдр, имеющий плоские углы в 60° и 120° (рис. 3*A*). Если расположение менее

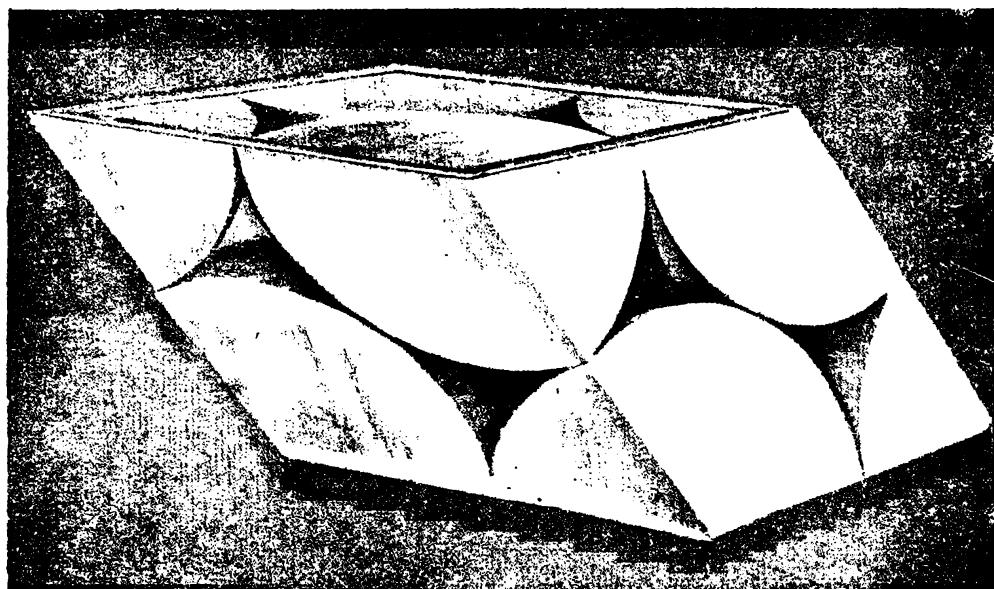


Рис. 4. Элементарный ромбоэдр, образованный плоскостями, проходящими через центры восьми смежных шаров, в группе шаров, уложенных наиболее плотно.

плотное, плоские углы ромбоэдра будут более 60° (рис. 3*B*), и каждый шар будет соприкасаться с другими шарами только в шести точках, а в остальных шести точках будет почти соприкасаться. Наименее плотное расположение зерен грунта, при котором зерна соприкасаются, получается тогда, когда ромбоэдр превратится в куб (рис. 3*C*).

На рис. 4 показан ромбоэдр, образующийся линиями, соединяющими центры шаров, изображенных на рис. 2.

Если мы представим породу, состоящую из частиц, расположенных так, что линии, соединяющие центры частиц, образуют куб, то процентное отношение объема пустот к общему объему (пористость) определится делением разности между объемом шара и объемом описанного куба на объем этого куба, что дает пористость в 47,64 %. Если частицы расположены наиболее плотным способом, как на рис. 2, то пористость определяется делением разности между объемом шара и объемом ромбоэдра, у которого острые плоские углы равны 60° и ребра которого равны диаметру шара, на объем этого ромбоэдра; в этом случае пористость равна 25,95 %. Это станет ясным, если принять во внимание, что части восьми отдельных шаров, составляющие ромбоэдр, показанный на рис. 4, будучи сложены вместе, образуют полный шар. Очевидно, что эти восемь частей составили бы полный шар даже при том условии, если бы плоский угол имел не 60° , а какое-либо другое значение, вплоть до 90° . При измерении пористости породы, состоящей из зерен почти одинаковой величины, мы получим большие колебания в результатах, зависящие в значительной степени от способа укладки зерен породы; но обычно пористость будет выражаться цифрами, находящимися в указанных пределах.

Поры в таком идеальном грунте образуют капиллярные трубы приблизительно треугольного сечения. Следуя за поверхностью сферических зерен, сечение пор слегка увеличивается и затем снова уменьшается до своей первоначальной «величины».

Зависимость пористости от размера зерен

Следует отметить, что размеры зерен не играют роли в расчетах Слихтера. При одинаковых прочих условиях материал будет обладать одинаковой пористостью независимо от того, состоит ли он из крупных или мелких зерен. В каждом из четырех главных типов зернистых пород — галечнике, песке, силте и глине — наблюдаются большие колебания в пористости, но в средней величине пористости различных групп вероятно нет большой разницы. В общем сilt и глина обладают примерно такой же пористостью, как песок и гравий.

Зависимость пористости от формы зерен

Природные осадочные породы отличаются от «идеального грунта» Слихтера тем, что они состоят из зерен, которые не представляют правильных шаров и не все имеют одинаковые размеры. Форма зерен бывает очень различна, соответственно с характером составляющих минералов и формой первоначальных обломков; она зависит также от характера и степени разрушения и истирания, которые они претерпели до своего отложения. Неправильность формы создает наибольшие колебания в пористости. До некоторой степени неправильности компенсируют одна другую, но принимается, что в породах пористость увеличивается вследствие неправильной угловатой формы составляющих частиц.

Зависимость пористости от степени сортировки

Разнообразие в размерах зерен или в степени сортировки имеет основное значение для пористости данного отложения. Порода, состоящая из крупных зерен одинаковой величины, обладает такой же высокой пористостью, как и порода, состоящая из мелких зерен одинаковой величины; но, если порода представляет смесь зерен этих двух размеров, пористость будет значительно ниже. Если к крупным зернам примешаются мелкие зерна, то последние займут промежутки между крупными и уменьшат этим количество пустого пространства (см. рис. 1A и 1B). Если в пространство, заключающееся между шарами, показанными на рис. 1A, поместить маленький шар, он займет место, которое иначе было бы пустым

и уменьшит пористость соответственно зерна прибавляются к осадку, состоящему из мелких зерен, они занимают и которое иначе было бы занято агрегатом мелких зерен с промежутками между ними. Таким образом эти пустые промежутки оказываются замещенными твердой породой, и пористость соответственно уменьшается. На рис. 5 показаны порода *a*, зерна которой имеют довольно однообразные размеры, и такая же порода *b* с добавлением крупного зерна *R*, не имеющего пор. Очевидно, что крупное зерно заместило ряд промежутков и уменьшило пористость породы.

или занятых водой, т. е. он своему объему. Если крупные зерна из мелких зерен, они уменьшат пористость соответственно уменьшит пористость соответственно зерна прибавляются к осадку, состоящему из мелких зерен, они занимают и которое иначе было бы занято агрегатом мелких зерен с промежутками между ними. Таким образом эти пустые промежутки оказываются замещенными твердой породой, и пористость соответственно уменьшается. На рис. 5 показаны порода *a*, зерна которой имеют довольно однообразные размеры, и такая же порода *b* с добавлением крупного зерна *R*, не имеющего пор. Очевидно, что крупное зерно заместило ряд промежутков и уменьшило пористость породы.

Различия в размерах зерен или степень сортированности данного отложения можно выразить количественно при помощи механического анализа, который дает представление о соотношении зерен определенных размеров в данном образце.

В помещенной ниже таблице 1 приведены результаты механического анализа восьми образцов, исследованных Хазеном (Hazen, 3). Рис. 6 дает графическую характеристику этих анализов.

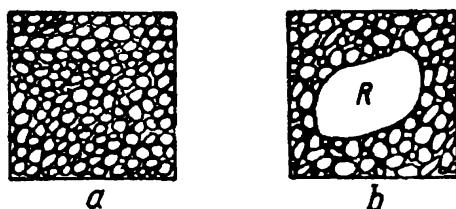


Рис. 5. Уменьшение пористости вследствие добавления крупного зерна (*R*) к агрегату мелких зерен.

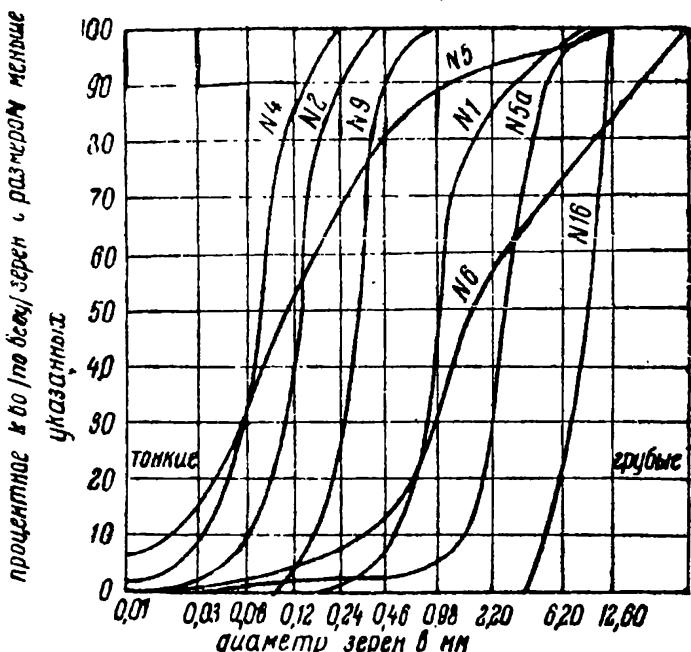


Таблица 1

Механический состав пород, исследованных Хазеном

Диаметр зерен (в мм)	Процент от общего веса образца							
	№ 5	№ 4	№ 2	№ 9	№ 6	№ 1	№ 5а	№ 16
Меньше 12,6	99	—	—	—	83	100	100	98
“ 6,2	96	—	—	—	73	97	95	27
“ 2,2	92	—	—	—	57	85	31	0
“ 0,98	89	—	—	100	32	53	4	—
“ 0,48	80	—	100	91	13	7	2	—
“ 0,24	67	100	90	26	7	1,5	1,5	—
“ 0,12	51	85	43	3	4	0	1,0	—
“ 0,06	33	35	10	0	2	—	0,5	—
“ 0,03	16	10	2	—	0,5	—	0	—
“ 0,01 (органич.) .	6	1	0	—	0	—	—	—
Действующая величина зерен ¹ (в мм)	0,22	0,03	0,06	0,17	0,35	0,48	1,40	5,00
Коэффициент однородности	9,0	2,3	2,3	2,0	7,8	2,4	2,4	1,8
Пористость (процент по объему)	36	44	42	42	32	40	—	45

¹ Действующей величиной Хазен называет диаметр такого зерна, по отношению к которому 10% образца (по весу) состоят из более мелких зерен и 90% — из более крупных.

Для того, чтобы иметь простое количественное выражение степени однородности размера частиц, принимают условное число, называемое *коэффициентом однородности*. Это есть отношение диаметра зерна, составляющего 60% образца (по весу), к диаметру зерна, составляющего 10% образца. Этот коэффициент можно получить из данных механического анализа, подобных приведенным выше; его легко также определить по кривой, выражающей механический анализ (см. рис. 6). Поясняя понятие о коэффициенте однородности и его связи с графическим изображением механических анализов, Хазен говорит:

«Для изучения и сравнения результаты были представлены графически. На прилагаемой диаграмме (рис. 6) высота кривой в любой точке показывает процентное количество частиц, которые имеют размеры меньшие, чем цифра на оси абсцисс, соответствующая этой точке. Линии, отвечающие диаметрам частиц, расположены на расстояниях, соответствующих логарифмам диаметров, так как при этом породы с одним и тем же соотношением размеров частиц дают одинаково крутые кривые, независимо от абсолютных размеров частиц, и это очень облегчает сравнение различных грунтов. При этом способе изображения можно показать все размеры зерен породы от 0,01 до 10 *мм* на небольшой площади, не удлиняя чрезмерно тот или иной отрезок по оси.

Если бы все зерна песка были абсолютно одинакового размера, коэффициент однородности равнялся бы 1; для большинства сравнительно равномерно-зернистых песков коэффициент колеблется от 2 до 3, для № 6 и № 5 цифры соответственно около 8 и 9, а некоторые чрезвычайно неоднородные пески имеют коэффициент до 20 или 30; но для последних данные ограничены».

Относительно зависимости пористости от коэффициента однородности Хазен (3, стр. 432) высказывает следующее:

«Объем пустого пространства зависит от формы и однообразия размеров частиц песка и не зависит от их абсолютных размеров».

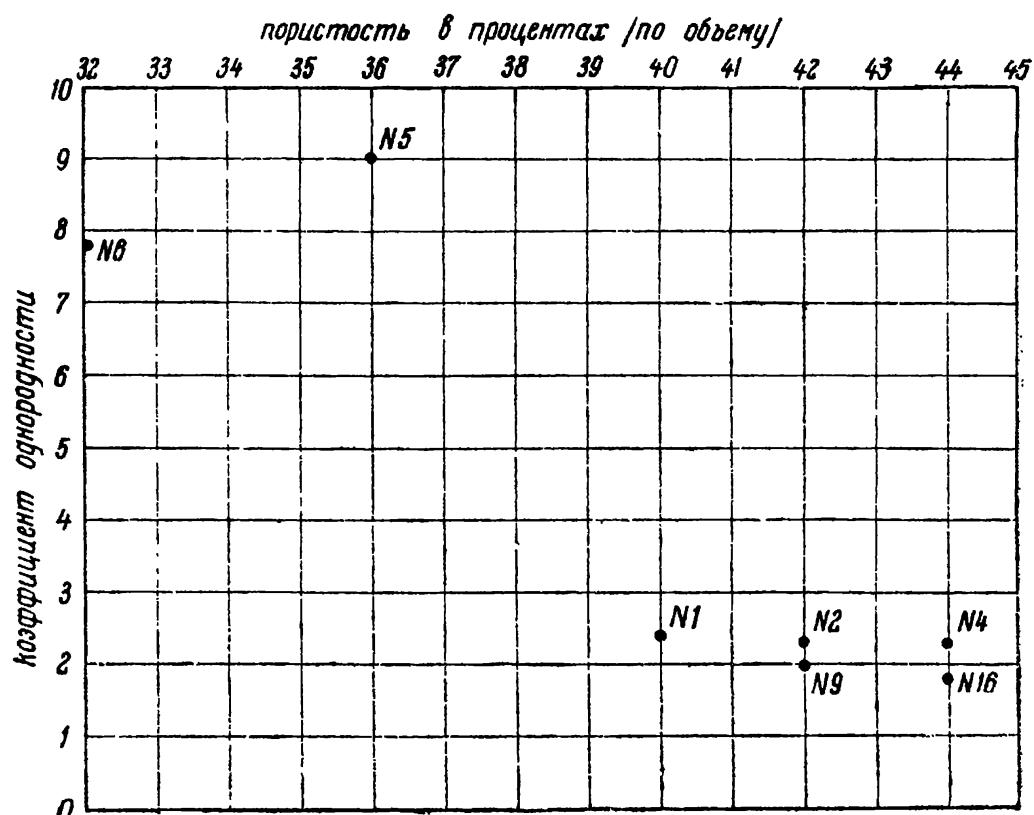


Рис. 7. Диаграмма соотношения между пористостью и коэффициентами однородности грунтов, исследованных Хазеном.

Грунты, дающие на диаграмме наиболее крутую кривую (рис. 6), указывающую на наибольшую однородность частиц, имеют наибольшую пористость, в то время как пески, дающие более пологую кривую, имеют более плотное сложение; тонкие частицы занимают промежутки между крупными зернами, сильно уменьшая этим количество пустого пространства».

Очевидно, что коэффициент однородности является показателем пористости. Чем больше коэффициент, тем меньше пористость. На рис. 7 показано соотношение между пористостью и коэффициентами однородности для образцов, механический анализ которых приведен в таблице 1.

ЧИСЛОВЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ПОРИСТОСТИ

Пористость различных пород колеблется от небольшой доли процента до 50% и более. Многие новейшие отложения в дельте Миссисипи обладают пористостью от 80 до 90% (4). Но пористость выше 40% встречается редко; исключение составляют почвы и современные отложения, которые не имели времени уплотниться. Пористость меньше 5% можно рассматривать как малую пористость, от 5 до 20% — как среднюю и выше 20% — как большую.

Выше было показано, что агрегат правильных твердых шаров одноракового размера обладает пористостью от 25,95 до 47,64%. В природе пористость хорошо сортированных несцементированных осадочных отложений колеблется в этих пределах, но осадочные отложения, плохо сортированные или значительно сцементированные, имеют гораздо меньшую пористость. Что касается почв, то они, несмотря на то что далеко не обладают однородностью зерен, имеют высокую пористость, обычно выше 50%. Находясь на поверхности, они не уплотняются и — при помощи культурной обработки, а также вследствие других процессов — поддерживаются в особо рыхлом состоянии. По большей части почвы сложены частицами, которые состоят из агрегатов более мелких частиц, как это видно на рис. 1С. Осадочные породы, которые в результате были сплошь сцементированы или изменены каким-нибудь другим образом, так что заполнились первоначальные промежутки между зернами, а также породы плотные при самом их образовании, как гранит, обладают весьма небольшими промежутками, не занятymi минеральным веществом. Каналы, образованные выщелачиванием, и трещины, даже если они имеют большие размеры, обычно расположены настолько далеко друг от друга, что не обусловливают высокого процента пустого пространства. В этом отношении интересно следующее замечание Фуллера (Fuller, 5), основанное на работе Эллиса (Ellis, 6):

«Недавние исследования в Коннектикуте, произведенные Эллисом по поручению Геологического комитета Соединенных штатов, показали, что в обычновенных гранитах и гнейсах этого района вода чаще всего встречается в вертикальных трещинах, располагающихся на поверхности в расстоянии в среднем от 1 до 2 м одна от другой. На глубине более 15 м это расстояние увеличивается в связи с выклиниванием мелких трещин. На еще больших глубинах, повидимому, остается очень мало водоносных трещин, и 75 метров являются тем пределом глубины, за которым не рекомендуется искать воду. Что касается горизонтальных трещин, то они приурочены к самым верхним частям пород и находятся обычно выше уровня вод; Эллис наблюдал, что трещины, имевшие на поверхности ширину 12,5 мм и более, быстро теряют ее с глубиной и что обычно в верхних 60—90 м их ширина равна 0,25 мм».

В породе, разбитой тремя системами трещин, в каждой из которых трещины располагаются на расстоянии 1,5 м, при средней ширине трещин 0,25 мм, общий объем пустого пространства, представленного трещинами, составляет только одну двадцатую процента общего объема породы. В некоторых плотных породах на большой глубине пористость, зависящая от трещин, вероятно выражается даже в мень-

Таблица 2

Пористость различных пород и почв
(составлена М. Л. Фуллером)

П о р о д а	Источник (автор)	Колич. проб	Пористость (в процентах от общего объема)		
			миним.	максим.	средняя
Гранит, кристаллический сланец и гнейс	Бэклей ¹	14	0,02	0,56	0,16
То же	Мерриль ²	23	0,37	1,85	1,2
Габбро	"	1	—	—	0,84
Диабаз	"	2	0,90	1,13	1,01
Обсидиан	Делесс ³	1	—	—	0,52
Песчаник	Бэклей ¹	16	4,81	28,28	15,89
"	Мерриль ²	—	3,46	22,8	10,22
Кварцит	"	1	—	—	0,8
"	Гики ⁴	—	—	—	0,21
Глинистый сланец и слан- цеватая глина	Делесс ³	2	0,49	7,55	3,95
Известняк, мрамор и до- ломит	Бэклей ¹	11	0,53	13,36	4,85
Мел	Гики ⁴	—	—	—	53
Оолит	Мерриль ²	8	3,28	12,44	7,18
Гипс	Гики ⁴	—	1,32	3,96	2,64
Песок (однородный) . . .	Кинг ⁵	Много	26	47	35
" (смешанный) . . .	"	"	35	40	38
Глина	"	"	44	47	45
"	Гики ⁴	—	—	—	53
Почвы	Департ. зем- леделия Со- единенн. шт.	Много	45	65	55

¹ Buckley, E. R., Building and ornamental stones (of Wisconsin): Wiskonsin Geol. Survey Bull. 4, pp. 400—403, 1898.

² Merrill, G. P., Stones for building and decoration, Appendix.

³ Delesse, Achill, Recherches sur l'eau dans l'intérieur de la terre: Soc. géol. France Bull., 2d sér., vol. 19, p. 64, 1862.

⁴ Geikie, Archibald, Textbook of geology, 4 ed., vol. 1, p. 410, 1903.

⁵ King, F. H., Principles and conditions of the movements of ground water: U. S. Geol. Survey Nineteenth Ann. Rept., pt. 2, pp. 209—215, 1898.