

Министерство высшего и среднего специального образования РСФСР

ЛЕНИНГРАДСКИЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ
по курсу "ГИДРОГЕОЛОГИЯ"

Тема: "ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОДОПРОНИЦАЕМОСТИ
ГОРНЫХ ПОРОД"

Ленинградский
Гидрометеорологический институт
БИБЛИОТЕКА
Л-л 193196 Малоохтенская ст., 98

Ленинград
1986

УДК 556.3 (076.5)

Одобрено методической комиссией гидрологического факультета
Ленинградского гидрометеорологического института

Гидрогеология. Тема: "Определение водопроницаемости горных пород". Лабораторные работы. - Л.: ЛГМИ, 1986, 38 с.

Приведены четыре лабораторные работы по теме "Определение водопроницаемости горных пород" в соответствии с программой курса "Гидрогеология" для студентов, обучающихся по специальности "Гидрология суши".

Составитель И. В. Болотникова, канд. геол.-минерал. наук, доц.

Ответственный редактор С. А. Чечкин, д-р геогр. наук, проф.

ПРЕДИСЛОВИЕ

В курсе "Гидрогеология" по теме "Определение водопроницаемости горных пород" студенты гидрологической специальности выполняют четыре лабораторные работы: определение коэффициента фильтрации породы трубкой Каменского, прибором СПЕЦГЕО, Капецкого и ПВ. Лабораторные работы по данной теме выполняются после изучения и сдачи лабораторных работ по теме "Гранулометрический состав рыхлых горных пород" [1], так как гранулометрический состав и пористость являются важнейшими показателями, определяющими фильтрационные свойства горных пород, значения которых используются при оценке расчетных гидрологических параметров.

В лабораторных условиях опыты по фильтрации воды проводятся через образцы горных пород как нарушенной, так и ненарушенной структуры. Лабораторные методы определения водопроницаемости горных пород наиболее простые и дешевые, поэтому они широко используются в практике гидрогеологических исследований. Однако они менее достоверны, чем методы полевых опытно-фильтрационных работ (откачки, налив в шурфы и т.д.), так как проводятся лишь на отдельных образцах, и условия фильтрации при опытах отличаются от натуральных. С полевыми опытно-фильтрационными работами студенты-гидрологи знакомятся в период летней учебной практики.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОДОПРОНИЦАЕМОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД

Подземные воды, заполняющие трещины и пустоты в горных породах, находятся в движении. Такое движение гравитационной воды в пористой среде называется фильтрацией.

К основным фильтрационным свойствам горных пород относятся:

- водопроницаемость, определяющая способность породы пропускать через себя воду;
- пористость, или пустотность, представляющая собой относительный объем пустот.

Различают три вида пористости: общую, открытую и динамическую.

Общая пористость - суммарный объем всех пустот независимо от формы, размера и взаимного расположения. Общая пористость может быть выражена коэффициентом пористости, который равен отношению объема пор к объему всей породы в сухом состоянии и выражается в долях единицы и в процентах:

$$n = \frac{V_n}{V} \cdot 100\% ; \quad (1)$$

где V_n - объем пор; V - объем породы.

Коэффициент пористости можно рассчитать по удельному и объемному весу породы по формуле

$$n = \left(1 - \frac{\delta}{\Delta}\right) \cdot 100, \quad (2)$$

где n - коэффициент пористости; δ - объемный вес породы, г/см³; Δ - удельный вес породы, г/см³.

Кроме коэффициента общей пористости в гидрогеологии, грунтоведении, инженерной геологии часто используется коэффициент приведенной пористости ε , который равен отношению объема пор V_n к объему скелета породы V_c :

$$\varepsilon = \frac{V_n}{V_c} . \quad (3)$$

Зависимость коэффициента общей и приведенной пористости может быть выражена следующими формулами:

$$\varepsilon = \frac{n}{1-n} ; \quad (4) \quad n = \frac{\varepsilon}{1+\varepsilon} \quad (5)$$

Открытая пористость - это отношение объема сообщающихся между собой открытых пор ко всему объему образца:

$$P_o = \frac{V_{c.o}}{V} \quad (6)$$

где P_o - открытая пористость, $V_{c.o}$ - объем сообщающихся открытых пор, V - объем пороги.

Открытая пористость определяется методом насыщения исследуемого образца породы (предварительно высушенного) керосином под вакуумом (метод И.А.Преображенского).

Динамическая пористость - это отношение лишь той части объема пор, через которые может передвигаться жидкость, ко всему объему образца породы, т.е.

$$P_A = \frac{V_A}{V} \quad (7)$$

где V_A - объем движущейся жидкости; V - объем образца породы.

Динамическая пористость всегда меньше открытой, так как в ней, в отличие от открытой пористости, не учитывается объем пор, занятый капиллярно-связанной водой и слабоподвижными пленками воды на поверхности частиц горной породы.

По размерам поры и трещины разделяются на три группы: сверхкапиллярные (размер пор более 0,5 мм, трещин более 0,254 мм); капиллярные (поры - 0,5+0,002 мм, трещины - 0,254+0,0001 мм); субкапиллярные (поры - менее 0,0002 мм, трещины - менее 0,0001 мм).

Если по сверхкапиллярным порам и трещинам происходит свободное движение воды, а по капиллярным - лишь при значительном участии капиллярных сил, то породы, имеющие субкапиллярные поры, являются практически водонепроницаемыми, например, глины, глинистые сланцы, аргиллиты.

Величина и характер пористости зависят от условий образования породы и последующего воздействия на нее процессов метаморфизма, цементации, выветривания и др. В скальных породах движение воды происходит по системе трещин, в рыхлых, зернистых - по промежуткам между отдельными частицами (рис.1).

Пористость рыхлых осадочных и скальных пород зависит от ряда условий:

- 1) расположения, размера и формы частиц или зерен, из которых сложена порода;
- 2) степени отсортированности частиц или зерен;
- 3) степени и характера цементации зерен или частиц между собой;
- 4) степени выветрелости породы;
- 5) характера трещиноватости пород.

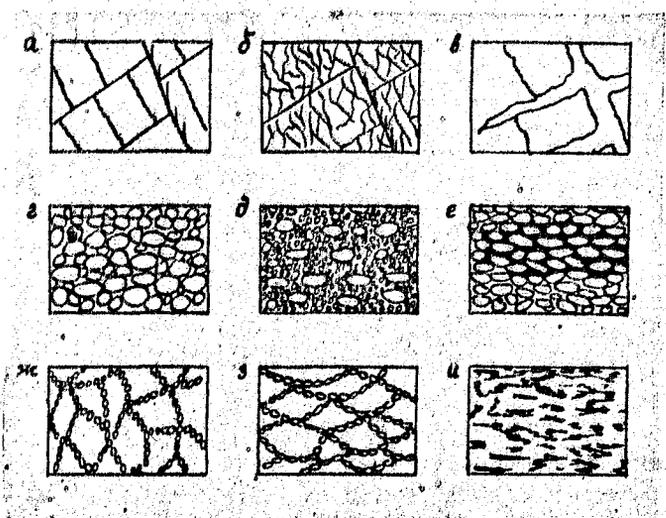


Рис. 1. Схематическое изображение различных видов пор в горных породах:

а - скальная порода с отдельными структурными порами и трещинами; б - та же порода с пористостью, увеличивающейся в результате процесса выветривания; в - каверновная порода с крупными пустотами, подвергающаяся выщелачиванию и растворению; г - рыхлая песчаная порода с относительно хорошо отсортированными зёрнами и высокой пористостью; д - рыхлая песчаная порода с малой пористостью вследствие неравнозёрности; е - песчаная порода с малой пористостью в результате образования цемента пор и обрастания; ж - лессовидная порода с микро- и макропористостью; з - глинистая микропористая порода; и - глинистая порода с малой пористостью вследствие уплотнения. Последние три типа пород показаны с увеличением.

Зависимость пористости от характера расположения зёрен или частиц теоретически исследовал Слихтер для наиболее простого случая, когда "идеальная" порода состоит из шарообразных зёрен одинакового диаметра. Заполняя определённый объём этими шарами, легко заметить, что количество шаров, вмещающихся в данном объёме, может быть различным в зависимости от способа укладки. Расположение зёрен можно представить в трех положе-

ниях - наиболее рыхлое (рис.2,а), наиболее плотное (рис.2,б) и сложение средней плотности (рис.2,в).

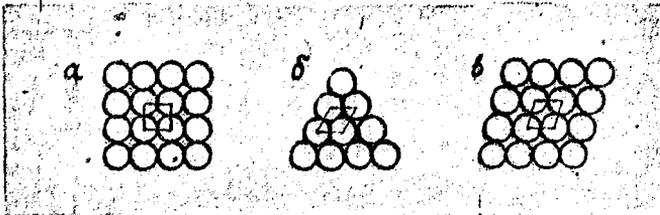


Рис.2. Влияние расположения шаровых зерен на величину пористости:

а) - наименее плотное сложение зерен; б) - наиболее плотное сложение зерен; в) - сложение средней плотности.

Наиболее рыхлое расположение шаров будет соответствовать положению, при котором центры этих шаров составят тетраэдр. Величина пористости в этом случае составит 26,2%.

В третьем случае (рис.2,в) пористость будет иметь среднюю величину.

Таким образом, пористость рыхлой породы, сложенной зернами одинакового размера, может колебаться в значительных, но определенных пределах: от 26,2 до 47,6%.

Зависимость пористости от формы зерен характеризуется тем, что чем больше формы зерен отклоняются от формы шара, тем значение пористости будет больше. Осадочные породы состоят из зерен, которые далеко не всегда представлены правильными шарами и не все имеют одинаковые размеры. Форма зерен бывает весьма различной, зависящей от характера минерального вещества, степени разрушения и истирания, степени окатанности. Неправильность и разнообразие форм зерен создают большие колебания в значениях пористости. Наибольшая пористость присуща породам, состоящим из минералов пластинчатого строения. Так, например, глины, мельчайшие частицы которых имеют пластинчатую форму, обладают высокой пористостью, часто превышающей 50%.

Зависимость пористости от степени отсортированности зерен

или частиц характеризуется уменьшением пористости с увеличением неоднородности рыхлой породы. Например, если рыхлая порода представляет смесь зерен различных размеров, то, вследствие заполнения крупных промежутков между зернами мелкими частицами, значение пористости будет уменьшаться. Количественное выражение степени отсортированности рыхлой горной породы характеризует коэффициент однородности или неоднородности ($K_{\text{одн}}$).

Коэффициент однородности, таким образом, может являться показателем пористости: чем больше $K_{\text{одн}}$, тем меньше пористость.

Зависимость пористости от степени цементации частиц и зерен очевидна: менее цементированные рыхлые породы обладают большей пористостью, более цементированные - меньшей. Например, пористость рыхлых песчаников может достигать до 40%, в то время как пористость цементированных песчаников составляет всего 6-10%.

Зависимость пористости от степени выветрелости породы и трещиноватости также не требует больших пояснений. Чем больше рыхлая или скальная порода подверглась физическому и химическому выветриванию, тем большие значения пористости характерны для этой породы.

Совокупность всех этих факторов создает исключительное разнообразие в величинах пористости, значения которой для различных горных пород могут колебаться в пределах от долей процента (плотные магматические, метаморфические породы) до 50% и более (почвы, торфы, рыхлые пески).

Пределы колебания пористости рыхлых и скальных пород даны в табл. 1.

Значения общей, открытой и динамической пористости являются прямыми расчетными величинами, входящими в ряд формул при гидрогеологических расчетах.

Водопроницаемость горных пород тоже зависит, главным образом, от пористости, т.е. от характера и размера пустот и пор. Наибольшей водопроницаемостью обладают крупнотрещиноватые и закарстованные породы (известняки, доломиты), а также крупнозернистые рыхлые породы (галечники, пески). Породы с тонкими трещинами (глинистые сланцы) и рыхлые породы, состо-

ФИЛЬТРАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ГЛАВНЕЙШИХ ГОРНЫХ ПОРОД
(по Н.А.Плотникову и Е.Е.Керкис)

Группа	Характеристика проницаемости пород	Основные виды пород	Коэффициент проницаемости, дарси	Коэффициент фильтрации, м/сут	Пористость, %
1	2	3	4	5	6
I	Очень высокая	1. Галечники и гравий без заполнителя (промывные)	> 500 (500 - 5000)	> 350 (350 - 3500)	25-35
		2. Глины и щебень в осипях и обвалах без заполнителя	> 500 (500 - 10000)	> 350 (350 - 6500)	20-35
		3. Сильно закарстованные	> 100 (200 - 5000)	> 70 (70 - 3500)	2-15
		4. Сильно трещиноватые интрузивные гнейсы и кристаллические сланцы	> 100 иногда до 1500	> 70 иногда до 1000	1-5
II	Высокая	1. Галечники и гравий с заполнителем - разнозернистым песком; песчаногалечные отложения, грубозернистые пески.	20 - 100	15 - 70	25-35
		2. Чистые мелко- и среднезернистые пески	10-80	7,0-55	25-35
		3. Закарстованные	10-100	7,0-70	1 - 8
		4. Троциноватые магматические	10 - 50	7,0-35	0,5-2,0

1	2	3	4	5	6
		2. Пористые цементованные (алевролиты, песчаники и т.п.)	0,1-1,0	0,07-0,7	5-20
		3. Слаботрециноватые магматические, метаморфические и осадочные	0,1-1,0	0,07-0,7	0,1-1,0
		4. Антрацит и сухие каменные угли	0,1-1,0	0,07-0,7	0,1-1,0
		5. Слаборазложившийся торф	0,1-1,0	0,07-0,7	50-70
		6. Лес и лесовидные суглинки	0,1-1,0	0,007-0,07	25-50
У	Весьма низкая	1. Суглинки, тяжелые супеси	0,01-0,1	0,007-0,07	25-50
		2. Сланцы песчано-глинистые, хлоритовые горючие и др. филлиты	0,01-0,1	0,007-0,07	2 - 4
		3. Плотносцементированные обломочные с небольшой пористостью (алевролиты, песчаники, песчанистые сланцы и т.п.)	0,01-0,1	0,007-0,07	8 - 10
		4. Различные очень слаботрециноватые	0,01-0,1	0,007-0,07	0,01-0,1
		5. Хорошо разложившийся торф	0,01-0,1	0,007-0,07	100-150 и более

1	2	3	4	5	6
У1	Близкая к нулю	1. Глины мергелистые, глины, аргиллиты, тяжелые суглинки 2. Галогенные соли, гипс, ангидрит глубже верхней трещиноватой и закарстованной зоны 3. Различные скальные и полускальные породы глубже верхней трещиноватой зоны	0,01 около нуля <0,01	0,005 около нуля <0,005	15-45 около нуля 0,01

ядие из мелких фракций (супеси, суглинок), слабо водопроницаемы. Весьма слабой водопроницаемостью обладают глины (при пористости 50% и более), табл. 1.

Водопроницаемость горных пород характеризуется коэффициентом фильтрации в размерности скорости (см/д, м/с, м/сут.); получаемым из основного закона фильтрации подаваемых вод - закона Дарси: согласно которому количество фильтрующейся воды Q в единицу времени прямо пропорционально коэффициенту фильтрации K , площади сечения F , разности уровней ΔH , под действием которой происходит фильтрация, и обратно пропорционально длине пути фильтрации Δl :

$$Q = K \frac{H_1 - H_2}{\Delta l} F = K \frac{\Delta H}{\Delta l} F, \quad (8)$$

где $\frac{\Delta H}{\Delta l} = J$ - изменение уровня по пути фильтрации называется напорным или гидравлическим градиентом. Гидравлический градиент J (уклон) - величина безразмерная.

Разделив обе части уравнения (8) на F и обозначив

$\frac{Q}{F}$ через U , получим

$$U = K J; \quad (9)$$

где U - скорость фильтрации. При градиенте J , равном единице $U = K$.

Необходимо иметь в виду, что скорость фильтрации U не равна действительной скорости движения подземных вод, так как речь идет о фиктивном потоке жидкости, отнесенном ко всему поперечному сечению фильтрующей породы. Действительная (истинная) скорость движения подземных вод, которая имеет место в сообщающихся порах и трещинах горных пород, будет определяться уравнением

$$u = \frac{U}{P}, \quad (10)$$

где u - действительная скорость; U - фиктивная скорость; P - общая пористость в долях единицы.

Из формулы (8) коэффициент фильтрации может быть выражен как расх u , если при этом принять $F = 1$ и $J = 1$, т.е. $Q = K$. Следовательно, коэффициент фильтрации можно охарактеризовать

как количество воды, проходящее в единицу времени через поперечное сечение пористой среды, равное единице при напорном градиенте, также равно единице.

Наиболее удобной единицей измерения коэффициента фильтрации является метр в сутки.*

Наиболее распространенной единицей измерения коэффициента водопроницаемости является 1 дарси, т.е. расход жидкости в кубических сантиметрах в секунду, имеющей вязкость 1 сантипуаз (Спз) и фильтрующейся через поперечное сечение площадью 1 см^2 при градиенте давления $1 (\text{кгс/см}^2)/\text{см}$.

Коэффициенты водопроницаемости в дарси и фильтрации в метрах в сутки численно близки друг к другу, а при температуре пресной воды $26-27^\circ$ они равны. При температуре пресной воды 10°C умножение коэффициента водопроницаемости в дарси на 0,66 дает значение коэффициента фильтрации в м/сутки.

Значение результатов изучения водопроницаемости или фильтрационных свойств горных пород особенно велико при выборе местоположения плотин и других гидротехнических сооружений, при разработке противофильтрационных мероприятий, при прогнозе водопритоков в горные выработки, при оценке запасов подземных вод для бытового и промышленного водоснабжения и т.д.

В настоящее время в связи с проблемой охраны окружающей среды от загрязнения промышленными отходами особенно большое значение приобрело изучение фильтрационных свойств горных пород для установления способов борьбы с загрязнением поверхностных и подземных вод путем откачки промышленных сточных вод в глубокие горизонты, а также возможной утечки промышленных стоков и фильтрации их в подземные воды.

Ниже рассмотрены лабораторные методы определения коэффициента фильтрации.

Отчетность по каждой лабораторной работе заключается в следующем:

- в отдельной лабораторной тетради коротко приводится ход анализа и схематический рисунок прибора.

* Имеется в виду фильтрация пресной воды при температуре $5-10^\circ\text{C}$.

- составляется таблица с полученными результатами (см. табл. 2, 5, 6, 7), в которой дано название породы по результатам гранулометрического анализа ситовым методом (кроме лабораторной работы № 4).

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1.
ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ФИЛЬТРАЦИИ ПОРОДЫ
ТРУБКОЙ КАМЕНСКОГО

Трубка Каменского имеет длину 23-25 см, диаметр 2-4 см (рис. 3). Нижний конец ее закрыт сеткой или марлей и нанесены через 1 см деления от 0 до 20, причем деление 20 должно совпадать с нижним краем трубки. Трубка укрепляется на штативе с металлической подставкой.

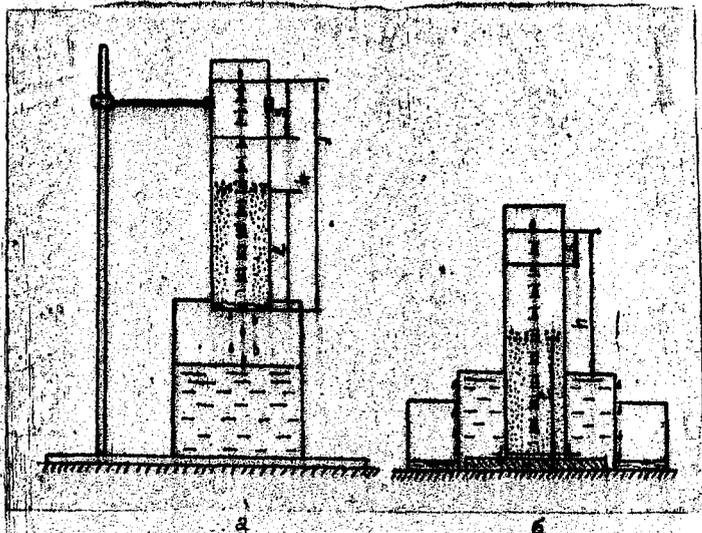


Рис. 3. Трубка Г.Н. Каменского;
а - опыт при свободном истечении; б - опыт при несвободном истечении.

Необходимое оборудование:
трубка Г.Н. Каменского, штатив, батарейный стакан, чашка, трамбовка, секундомер, термометр.

Подготовка пробы и проведение анализа.

1. Опустить трубку в батарейный стакан высотой 15-20 см, в который налита вода. Наполнить трубку песком небольшими порциями, уплотняя его постукиванием по стенкам трамбовкой и одновременно увлажняя, для чего в стакан приливать воду в количестве, не превышающем высоту слоя песка.

2. После заполнения трубки песком на высоту 10 см (это будет длина фильтрующего слоя l) и полного его насыщения водой снизу по капиллярам в стакан налить еще воды в таком количестве, чтобы уровень ее был на 1-2 см выше уровня песка в трубке.

3. Насыпать поверх увлажненного песка слой гравия толщиной 1-2 см для предохранения поверхности от размыва. Если исследуемый образец породы мелкозернистый и частицы его легко проходят через марлю (сетку), то следует на марлю предварительно насыпать слой крупнозернистого песка толщиной в 1 см, и ватом уже загружать слой (10 см) исследуемой породы.

4. Закрепить трубку на штативе, приподнять ее над стаканом или чашкой, налить сверху воды до уровня 1-2 см выше нулевого деления и засесть секундомером время прохождения уровня воды в трубке от 0 до деления 3, от 0 до 5 и от 0 до 7 см (величины понижения S).

5. Для получения среднего значения коэффициента фильтрации опыт повторить с трехкратным контролем на каждом понижении.

6. Данные, полученные в процессе опыта, занести в журнал (табл. 2).

7. Замерить температуру профильтровавшейся воды.

8. Вычислить коэффициент фильтрации для каждого понижения по формуле

$$K = \frac{l}{t} f\left(\frac{S}{h}\right)$$

где: K - коэффициент фильтрации, см/с; l - длина пути фильтрации, см; t - время понижения уровня воды в трубке от 0 до деления 3, 5, 7; S - понижение уровня воды в труб-

$\times/$ Для того, чтобы пересчитать средние значения коэффициента фильтрации размерности см/с в м/сут, надо умножить полученные значения на 864.

Таблица 2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ФИЛЬТРАЦИИ ПОРОДЫ ТРУБКОЙ Г.Н.РАМЕНСКОГО (ПРОБА №)

Название породы	Первоначальный напор $h, \text{см}$	Величина понижения уровня $S, \text{см}$	Время понижения уровня $t, \text{с}$	$\frac{S}{h}$	$\frac{tS}{h}$	Длина пути фильтрации $l, \text{см}$	Коэффициент фильтрации $K = \frac{l}{t} f\left(\frac{S}{h}\right)$	Температура $T, \text{°C}$	Коэффициент фильтрации при 10°C : $K_{10} = \frac{K \cdot \Pi_{10}}{\Pi_T}$ см/с	Средний коэффициент фильтрации $K_{\text{ср}} = K_{10} \cdot 864$ м/сут

Ленинградский
Гидрометеорологический институт
БИЗЛНИИ
Д-р 193196 Маловосстанский пр., 68

Таблица 3

ЗНАЧЕНИЕ $f\left(\frac{s}{h}\right)$

$\frac{s}{h}$	2	3	4	5	6	7	8
0,01	0,010	0,26	0,301	0,51	0,713	0,76	1,427
0,02	0,020	0,27	0,315	0,52	0,734	0,77	1,470
0,03	0,030	0,28	0,329	0,53	0,755	0,78	1,514
0,04	0,040	0,29	0,343	0,54	0,777	0,79	1,561
0,05	0,051	0,30	0,357	0,55	0,799	0,80	1,609
0,06	0,062	0,31	0,371	0,56	0,827	0,81	1,661
0,07	0,073	0,32	0,385	0,57	0,844	0,82	1,715
0,08	0,083	0,33	0,400	0,58	0,868	0,83	1,771
0,09	0,094	0,34	0,416	0,59	0,892	0,84	1,833
0,10	0,105	0,35	0,431	0,60	0,916	0,85	1,897
0,11	0,117	0,36	0,446	0,61	0,941	0,86	1,966
0,12	0,128	0,37	0,462	0,62	0,967	0,87	2,040
0,13	0,139	0,38	0,478	0,63	0,994	0,88	2,120
0,14	0,151	0,39	0,494	0,64	1,022	0,89	2,207
0,15	0,163	0,40	0,510	0,65	1,050	0,90	2,303
0,16	0,174	0,41	0,527	0,66	1,079	0,91	2,408
0,17	0,186	0,42	0,545	0,67	1,109	0,92	2,526
0,18	0,198	0,43	0,562	0,68	1,140	0,93	2,659
0,19	0,210	0,44	0,580	0,69	1,172	0,94	2,813
0,20	0,223	0,45	0,598	0,70	1,204	0,95	2,996
0,21	0,236	0,46	0,616	0,71	1,236	0,96	3,219
0,22	0,248	0,47	0,635	0,72	1,273	0,97	3,507
0,23	0,261	0,48	0,654	0,73	1,309	0,98	3,912
0,24	0,274	0,49	0,673	0,74	1,347	0,99	4,605
0,25	0,288	0,50	0,693	0,75	1,386		

ке за время t , см; h — первоначальный напор, см.
Величину $f \left(\frac{s}{h} \right)$ определить по табл. 3.

Можно получить значения коэффициента фильтрации по номограмме Н.Н. Биндемана (рис. 4), для этого приложить линейку к шкале $\frac{s}{h}$ и к шкале времени понижения уровня. Продолжение этой линии до пересечения со шкалой коэффициента фильтрации укажет величину последнего.

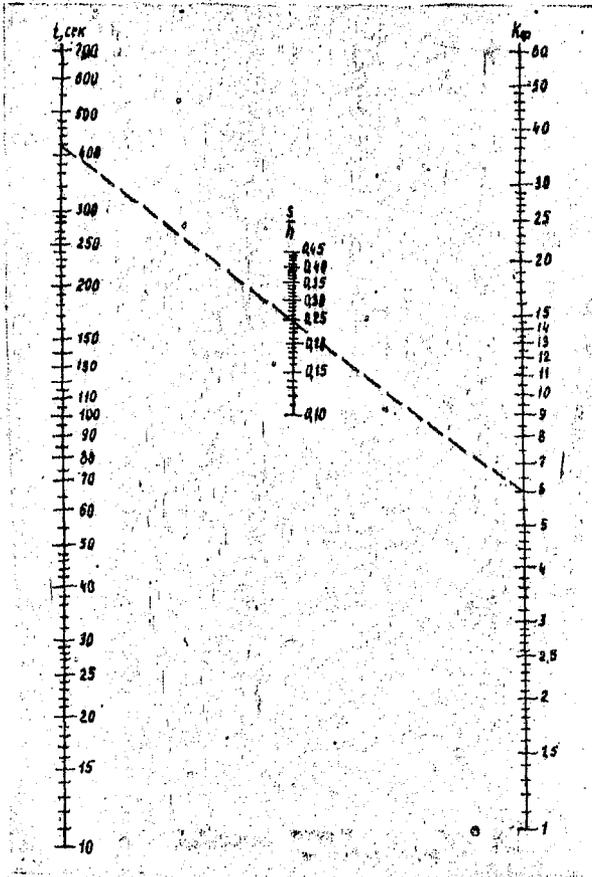


Рис. 4. Номограмма Н.Н. Биндемана для определения коэффициента фильтрации породы прибором Г.Н. Каменского.

9. Привести результаты опыта к необходимой температуре, например 10°C. Для этого полученный коэффициент фильтрации умножить на температурную поправку, соответствующую 10°C и разделить на поправку температуры, при которой проведено определение коэффициента фильтрации

$$K_{10} = \frac{K_{\text{факт}} \cdot \Pi_{10}}{\Pi_{\text{факт}}}$$

Температурные поправки можно взять из табл.4 или вычислить по формуле Пуазейля

$$\Pi = 1 + 0,0337T + 0,000221T^2$$

Таблица 4

ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ПОПРАВКИ (Π) ПО ПУАЗЕЙЛЮ

T°C	Π										
10,0	1,36	12,5	1,46	15,0	1,56	17,5	1,66	20,0	1,76	22,5	1,68
10,5	1,38	13,0	1,48	15,5	1,58	18,0	1,68	20,5	1,78	23,0	1,86
11,0	1,40	13,5	1,50	16,0	1,60	18,5	1,70	21,0	1,80	24,0	1,92
11,5	1,42	14,0	1,52	16,5	1,62	19,0	1,72	21,5	1,82	25,0	1,96
12,0	1,44	14,5	1,55	17,0	1,64	19,5	1,74	22,0	1,84	26,0	2,00

10. Если исследуемый образец - крупнозернистый песок, то следует величину первоначального напора h уменьшить. Для этого нижний конец трубки с песком погрузить в стакан, заполненный до краев водой, который поставить в чашку. Величина первоначального напора h в этом случае будет измеряться от 0 до уровня воды в стакане (рис.3,б).

11. Вычислить средний коэффициент фильтрации в м/сут для каждого понижения.

Лабораторная работа № 2.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ФИЛЬТРАЦИИ ПОРОДЫ ТРУБКОЙ СПЕЦГЕО

Трубка СПЕЦГЕО предназначена для определения коэффициента фильтрации песчаных пород с нарушенной и ненарушенной

структурой при переменных напорных градиентах от 0 до 1.

Прибор состоит из фильтрационной трубки, корпуса с крышкой и специального винтового телескопического приспособления, позволяющего насыщать породу и регулировать напор воды.

Фильтрационная трубка (рис. 5) состоит из основного металлического цилиндра 5 с заостренными краями площадью внутреннего сечения, равной 25 см^2 , дна прибора 6, которое надвигается на нижнюю часть цилиндра, и латунной сетки 7, вставляемой в дно. На верхней части цилиндра устанавливается муфта 2 с латунной сеткой 3 и со стеклянным баллоном 1 (мариоттовым сосудом), на одной стороне которого нанесена шкала. Стеклянный сосуд, объемом $150-180 \text{ см}^3$ имеет сухенное горлышко, через которое автоматически подается вода в прибор во время фильтрации.

Телескопическое приспособление состоит из подставки 11, винта 8 и планки 4. На планке 4 нанесены деления напорного градиента от 0 до 1 с ценой деления 0,02.

Имеется еще одна модель трубки СПЕЦГЕО, выпускаемая нашей промышленностью под маркой КФЗ. Эта модель отличается от вышеописанного прибора только тем, что в ней телескопическое приспособление состоит из двух стаканов: наружного 6, имеющего внутреннюю резьбу, и внутреннего 7, имеющего в основании наружную резьбу и нанесенную на корпус шкалу напорного градиента от 0 до 1 (рис. 6).

Н е о б х о д и м о е о б о р у д о в а н и е: трубка СПЕЦГЕО, секундомер, стеклянная батарейная банка, трамбовка, термометр, лопка или совок.

Подготовка пробы и проведение анализа

1. Из корпуса прибора извлечь фильтрационную трубку 5 (рис. 5). Снять с фильтрационной трубки муфту 2 с латунной сеткой 3 и мерным стеклянным сосудом 1.

2. При испытании песчаных пород нарушенной структуры коэффициент фильтрации следует определять дважды: при рыхлом их сложении и при самом плотном. Наполнение металлического цилиндра в первом случае произвести простым насыпанием породы до необходимой высоты. Во втором случае выполнение породы провести слоями в 1-2 см, с легкой трамбовкой.

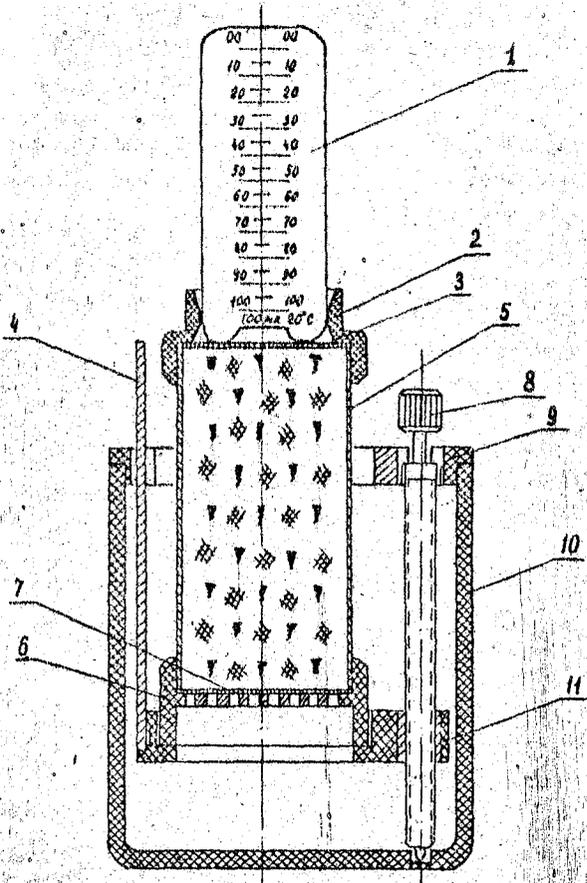


Рис. 5. Прибор СПЕЦГЕО.

3. При опытах с тонковернистыми песками на дно трубки засыпать буферный слой песка высотой в 2-3 мм из фракции диаметром 0,5-0,25 мм.

4. Если определяется коэффициент фильтрации породы с ненарушенной структурой, то с цилиндра 5 снять дно 6 с латунной сеткой 7 и цилиндр в вертикальном положении вдавить непосредственно в породу, а затем отделить от нее при помощи ножа.

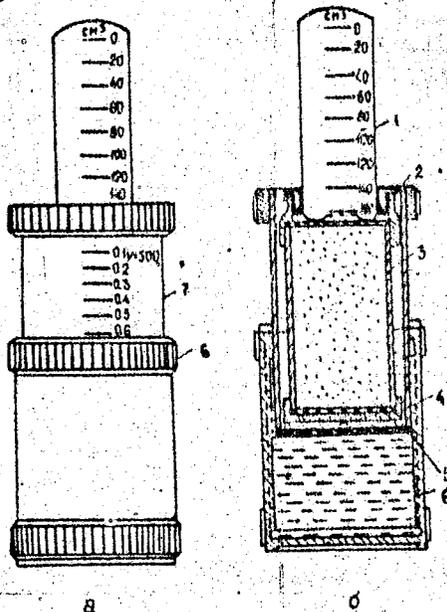


Рис. 6. Усовершенствованная модель прибора СПЕКТРО:
а - общий вид; б - в рабочем положении, в разрезе.

5. После заполнения цилиндра породой в корпус 10 налить воду и вращением винта 8 поднять подставку 11 до совмещения отметки на планке 4 напорного градиента 1 с верхним краем крышки 9.

6. На подставку 11 установить фильтрационную трубку с исследуемой породой. Вращением винта 8 медленно погрузить фильтрационную трубку с породой в воду до отметки напорного градиента $J = 0,8$. В таком положении оставить прибор до момента появления влаги в верхнем торце цилиндра, о чем судят по изменившемуся цвету породы.

7. Положить на породу латунную сетку 3, одеть на фильтрационную трубку муфту 2 и вращением винта 8 опустить трубку в крайнее нижнее положение.

8. Заполнить стеклянный сосуд 1 водой, захватить отверстие большим пальцем и быстро опрокинуть, вставив в муфту фильтрационной трубки так, чтобы горлышко сосуда соприкасалось с

латунной сеткой.

В таком положении стеклянный сосуд автоматически поддерживает над породой постоянный уровень воды в 1-2 мм. Как только этот уровень, вследствие просачивания воды через породу, понизится, в стеклянный сосуд прорвется пузырек воздуха, и соответствующее количество воды вытечет из него. Этим достигается постоянство напорного градиента.

9. Если в стеклянный сосуд прорываются крупные пузырьки воздуха, это свидетельствует о том, что горлышко сосуда отстоит на значительное расстояние от поверхности породы. В этом случае необходимо опустить сосуд ниже на 1-2 мм и добиться того, чтобы в него равномерно поднимались мелкие пузырьки воздуха.

10. По достижении указанных условий установить планку 4 на градиент $J = 0,6$ и долить воды в корпус 10 до верхнего края.

11. Отметить по шкале уровень воды в стеклянном сосуде, пустить секундомер и по истечении определенного времени (50-100 с для среднезернистых песков и 250-500 с для глинистых песков) замотить второй уровень воды в стеклянном сосуде 1, что даст возможность определить расход воды Q , профильтровавшейся через породу за время t (с).

12. Для получения средней величины коэффициента фильтрации повторить замеры расхода воды при различных понижениях уровня воды в стеклянном сосуде за время t (с). Повторить опыт при данном градиенте 2-3 раза.

13. Установить планку 4 на напорный градиент $J = 0,8$. Далее поступить согласно пункту 11. Для напорного градиента $J = 1,0$ телескопическим приспособлением можно не пользоваться. В этом случае фильтрационную трубку поставить на лобовую ровную поверхность или можно закрепить на штативе.

14. Замерить температуру профильтрованной воды и вычислить температурную поправку (можно взять по табл. 3).

15. Вычислить коэффициент фильтрации по формуле

$$K = \frac{Q}{F \cdot J \cdot t}, \text{ см/с,}$$

где Q - количество профильтрованной воды (см³) за время t (с); F - площадь поперечного сечения металлическо-

го цилиндра (см^2); J - напорный градиент.

16. Вычислить среднее значение коэффициента фильтрации, введя поправку на температуру воды (T), разделив на нее полученную величину $K_{\text{ср}}$ и перевести $K_{\text{ср}}$ в размерность м/сут, умножив его для этой цели на 864.

17. Все данные, полученные в процессе опыта, занести в табл. 5.

Лабораторная работа № 3.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ФИЛЬТРАЦИИ ПОРОДЫ ПРИБОРОМ Д. КАПЕЦКОГО.

Прибор Капецкого используется для определения коэффициента фильтрации песчаных и глинистых пород как нарушенного, так и естественного сложения.

Он состоит из трех цилиндрических сосудов (рис. 7). Нижний сосуд 1 представляет собой стакан с глухим дном высотой и диаметром 11 см. Средний сосуд 2 высотой и диаметром 10 см имеет заостренный край для отбора образцов с ненарушенной структурой. Нижний и средний сосуды соединяются друг с другом при помощи болтов 6 и 7. Между сосудами помещен металлический фильтр (сетка) 4. В нижнем цилиндре имеются два отверстия со штуцерами, один из которых 8 при помощи резиновой трубки 5 соединен со стеклянным пьезометром 10_а, второй 9 с резиновой регулирующей трубкой 11. Верхний цилиндр 3 высотой 7 см имеет тот же диаметр, что и средний и соединяется с ним при помощи кольцевой ленты 12.

Верхний цилиндр имеет два отвода 13 и 14, один из них 13 присоединен к пьезометру 10_а, а другой 14 служит для поддержания постоянного уровня воды в приборе. Стеклянные пьезометры 10_а и 10_б укреплены на деревянной панели с миллиметровой шкалой. Ноль шкалы находится в нижней части панели. Прибор устанавливается на столе; выше, на полке, устанавливается бутиль с тубусом 15, от которого отходит резиновая трубка 16 с захимом 17. Резиновая трубка 11 укрепляется на штативе и служит для насыщения породы водой при загрузке прибора и для

регулирования напора и стока фильтрующейся через породу воды во время опыта.

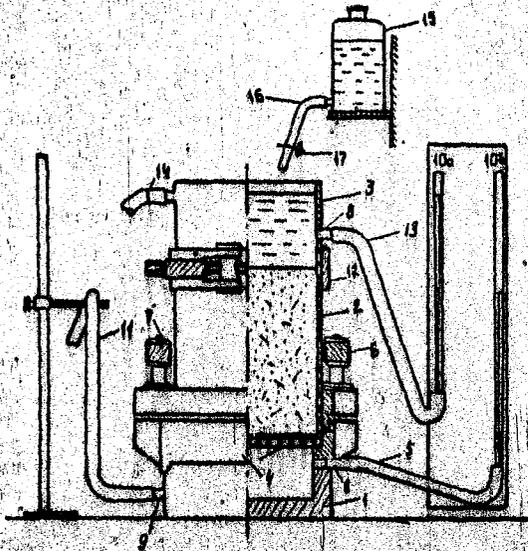


Рис. 7. Прибор Д.Калецкого для определения коэффициента фильтрации породы.

Необходимое оборудование: прибор Д.Калецкого, бутылка стеклянная с тубусом объемом 5-8 л, мерный цилиндр объемом 500 см³, трамбовка, штатив, секундомер, термометр, ложка или совок, воронка.

Подготовка проб и проведение анализа.

1. Установить прибор на столе. В нижний сосуд 1 через резиновую трубку 11 при помощи воронки налить воду до появления пленки воды над сеткой 4.
2. Загрузить средний сосуд 2 породой небольшими порциями,

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ФИЛЬТРАЦИИ ПОРОД ГРУНТОВ СПЕЦГЕО (проба №)

Таблица 5

	Название породы
50	Площадь поперечного сечения F , см ²
	Время фильтрации t , с
10	Количество протифильтрованной воды Q за время t , см ³
	Коэффициент фильтрации $K = \frac{Q}{F \cdot t}$, см/с
20	Температура воды T , °C
	Температурная поправка Π
	Средний коэффициент фильтрации $K_{ср}$, см/с
	Коэффициент фильтрации $K_{м/сут} = K_{ср} \cdot 864$
	Примечание

уплотняя ее постукиванием трамбовкой по стенке сосуда или по поверхности породы.

3. Одновременно с загрузкой породы производить насыщение ее водой через резиновый шланг 11 до тех пор, пока вода не появится на поверхности породы.

4. При испытании породы ненарушенного сложения режущим цилиндром 2 вырезается монолит непосредственно в полевых условиях и исследуется так же, как и образец породы нарушенной структуры.

5. После загрузки прибора породой и насыщением ее водой закрепить регулирующую трубку 11 на штативе на уровне верхнего бокового отверстия со штуцером 14.

6. Проверить работу пьезометров 10_a и 10_b . Для этого присоединить к прибору пьезометры при помощи резиновых трубок 5 и 13, наполнив их водой, чтобы вытеснить содержащийся в них воздух.

7. Если регулирующая резиновая трубка 11 закреплена на уровне верхнего бокового отверстия со штуцером 14, уровень воды в пьезометрах установится на одной и той же высоте, а просачивание воды через породу не будет происходить.

8. Если уровни в пьезометрах не устанавливаются на одной высоте, это значит, что пьезометры или засорились, или в них находятся пузырьки воздуха. Неисправности пьезометров необходимо устранить.

9. После достижения одинаковой высоты уровней воды в пьезометрах, резиновую регулирующую трубку 11 установить на высоте выше уровня фильтрационной сетки 4, помещенной между двумя цилиндрами. При таком положении трубки 11 в приборе создается напорный градиент и вода начинает фильтроваться через породу.

10. Открыть кран 17 и поступление воды в прибор отрегулировать так, чтобы ее было достаточно для фильтрации и для поддержания постоянного уровня воды в приборе.

11. Замерить показания пьезометров 10_a и 10_b и вычислить разность уровней воды в них.

12. Подставить под регулирующую резиновую трубку 11 мерный цилиндр, включить секундомер и замерить расход воды Q

за время t (с). Он будет равен

$$Q = \frac{V}{t}, \quad \text{см}^3/\text{с},$$

где V - объем воды, профильтровавшейся через породу, см³.

13. Вычислить коэффициент фильтрации по формуле

$$k = \frac{Q \cdot 864}{F \cdot J}, \quad \text{м/сут},$$

где Q - расход воды, профильтровавшейся через площадь поперечного сечения F в единицу времени, см³/с;

F - площадь поперечного сечения рожущего цилиндра, см²;

J - напорный градиент, равный отношению разности напоров в пьезометрах к длине пути фильтрации l , т.е.

$$J = \frac{H_1 - H_2}{l},$$

где l - высота рожущего цилиндра²; 864 - переводной коэффициент из см/с в м/сут.

14. Для вычисления среднего значения коэффициента фильтрации опыт повторить 2-3 раза при двух различных напорных градиентах, что достигается различным положением регулирующей резиновой трубки 11.

15. Замерить температуру фильтрующейся воды и привести результаты к постоянной температуре, например к 10° С. Температурную поправку брать по табл. 3.

16. Занести замеры и отсчеты в табл. 6.

Лабораторная работа № 4.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ФИЛЬТРАЦИИ ПОРОДЫ ПРИБОРОМ ПВ.

Прибор ПВ конструкции Д.И. Знаменского-В.И. Хаустова является компрессионно-фильтрационным. Этот прибор используется для определения коэффициента фильтрации главным образом глинистых пород как нарушенного, так и ненарушенного сложения. В приборе ПВ можно определять коэффициент фильтрации с переменным напором при восходящем и нисходящем потоках воды.

Таблица 6

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ФИЛЬТРАЦИИ ПОРОДЫ ПРИБОРОМ КАПЕЦКОГО (проба № _____)

Длина пути фильтрации l

Внутренний диаметр режущего цилиндра _____

Площадь поперечного сечения образца F , см²

Номер пробы	Название породы	Количество протравившейся воды V , см ³	Время t , с	Расход воды $Q = \frac{V}{t}$, см ³ /с	Показания пьезометров H_1 H_2		Разница уровней в пьезометрах $H_1 - H_2$	Напорный коэффициент $J = \frac{H_1 - H_2}{H_1}$	Коэффициент фильтрации $K = F \cdot J$, см/с	Температура T , °С	Температурная поправка $\Pi = 1 + \alpha(0.0337T - 0.000221T^2)$ или см. табл. 3	Коэффициент фильтрации при 10 °С $K_{10} = K \cdot \Pi = 864$, м/сут	Средний коэффициент фильтрации $K_{ср}$, м/сут

Прибор ПВ (рис. 8) состоит из корпуса 1, крышки 14, которая прижимается к корпусу болтами 13. В нижней части корпуса имеется двухходовой кран 17 для подачи воды в корпус прибора. На крышке 14 установлены две пьезометрические трубки 11 и 9 с трехходовыми кранами 12 и 6. Между пьезометрическими трубками находится металлическая стойка 10 с делениями, по которой ходит указатель-движок 8, предназначенный для замера уровня воды в пьезометрах. Арретивный винт 5 предназначен для предотвращения набухания породы и насыщения ее водой. Шток 7, расположенный внутри винта 5, служит для передачи вертикальной нагрузки на породу через поршень 4. Исследуемый образец породы помещается в режущее кольцо 3, которое вместе с цилиндром-вкладышем 15 помещается на металлическую решетку 2, расположенную на дне вкладыша 16. Внутри прибора создается два бьефа: внутренний "а" и внешний "б", соединяющиеся между собой при помощи крана (на рисунке не показан).

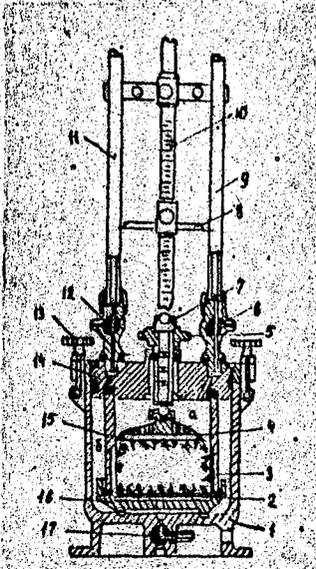


Рис. 8. Прибор ПВ.

Необходимое оборудование: прибор ПВ, технические весы с разновесами, бутылка с краном, секундомер, нож, бжси.

Подготовка пробы и проведение анализа:

1. Вырезать режущим кольцом 3 образец породы из монолита ненарушенного сложения или из приготовленного теста нарушенного сложения. Для этого поставить кольцо в вертикальном положении на срезанную поверхность монолита породы и руками медленно вдавливать его в породу, обрезаая породу с внешней стороны ножом. При этой необходимо следить за тем, чтобы погружение кольца в породу происходило строго вертикально. Подрезать снизу ножом, а избыток породы над кольцом срезать вровень с краями.

2. Взвесить кольцо с породой на технических весах с точностью до 0,01 г для определения объемного веса.

3. Одновременно из исследуемой породы отобрать пробы для определения влажности и удельного веса.

4. На решетку 2 дна вкладыша 16 положить смоченный лист фильтровальной бумаги, установить кольцо 3 с породой, сверху покрыть листом смоченной фильтровальной бумаги и поставить на него поршень.

5. Закрыть собранный прибор крышкой 14 и прижать ее откидными болтами 13 к корпусу 1.

6. Перед насыщением породы водой, с ретивым винтом 5 закрепить поршень прибора для предотвращения набухания породы.

7. Установить бутылку с водой на уровне верхних концов пьезометров и при помощи резиновой трубки подвести воду к крану 17.

8. Открыть кран 17 (рис. 9) и пустить воду в прибор до тех пор, пока она не пойдется в левом пьезометре 11.

9. Для удаления воздуха из бьефа "б" наклонить прибор в сторону до появления воды в пьезометре 9, соединенном с бьефом "а".

10. Закрыть кран 6 при появлении воды в пьезометре 9 и наклонить прибор в левую сторону для удаления воздуха из бьефа "а".

11. Для полного насыщения породы водой, оставить прибор на сутки в покое.

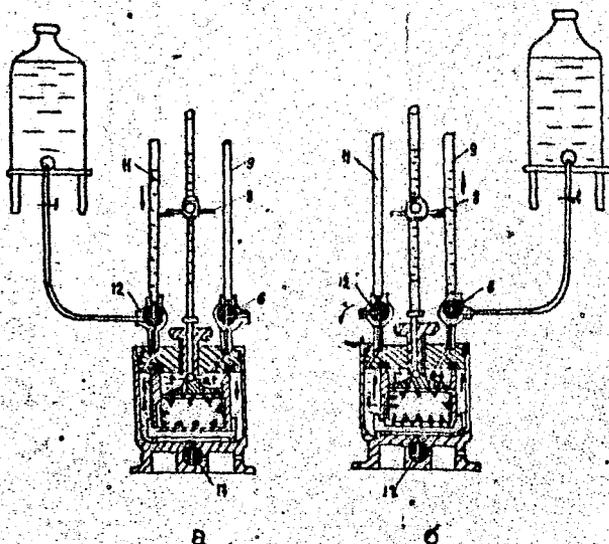


Рис.9. Схема работы прибора ПВ:

а - "восходящий поток"; б - "нисходящий поток"

12. После полного насыщения породы водой, о чем свидетельствует стабилизация уровней воды в пьезометрах, закрыть кран 7 и приступить к определению коэффициента фильтрации.

13. Испытание породы на фильтрацию в приборе ПВ можно произвести как без предварительного уплотнения, но удерживая набухание породы при ее увлажнении, так и после уплотнения различными нагрузками в 0,5; 1; 2; 4; 6 кг/см².

14. При каждой ступени нагрузки породу следует выдерживать до стабилизации уплотнения, о чем судят по индикатору.

15. Определение коэффициента фильтрации в приборе ПВ следует провести по двум схемам: "восходящего потока" (рис.9,а) и "нисходящего потока" (рис.9,б).

16. По схеме "восходящего потока" подготовить прибор так, как показано на рис.9,а. Для этого закрыть кран 17. Подвести воду от бутылки к крану 12 для пополнения воды в пьезометре: 11. К крану 6 присоединить небольшой кусок шланга, подставить под него сосуд для слива воды.

17. Когда кран 6 будет открыт, из пьезометра 9 вода стечет, а столб воды в пьезометре 11 создаст напор, под действием которого вода начнет фильтроваться из пьезометра 11 в бьеф "б", а затем снизу вверх через породу.

18. Поставить указатель-двигок 8 на отметку 25 см так, чтобы отметка шкалы находилась не против стрелки, а против верхнего края движка.

19. Когда мениск воды в пьезометре поравняется со стрелкой указателя, пустить секундомер.

20. Передвинуть указатель-двигок 8 на одно-два деления и засесть по секундомеру время, за которое уровень воды в пьезометре 11 понизится на данное количество делений.

21. Повторить опыт при "восходящем потоке" два-три раза. Результаты записать в табл. 7.

22. Провести опыт на фильтрацию по схеме "нисходящего потока" так, как показано на рис. 9, б. Наблюдения за скоростью фильтрации воды в этом случае вести по скорости понижения уровня воды в пьезометре 9. Подвести воду от бычьей крану 6, перекрыв при этом кран 12.

23. По окончании опыта слить воду из прибора через краны 6, 12; 17, определить влажность и объемный вес породы.

24. Рассчитать коэффициент фильтрации, который при каждом определенном понижении уровня воды в пьезометре будет равен:

$$K_1 = \frac{Q_1}{F \cdot J_1 \cdot t_1}; K_2 = \frac{Q_2}{F \cdot J_2 \cdot t_2}; \dots; K_i = \frac{Q_i}{F \cdot J_i \cdot t_i}$$

где K_1, K_2, \dots, K_i - коэффициенты фильтрации, см/с;

F - площадь поперечного сечения кольца, заполненного породой, см²; Q_1, Q_2, \dots, Q_i - количества воды (см³), профильтровавшиеся через породу за время t_1, t_2, \dots, t_i , определенные по формулам

$$Q_1 = \frac{\pi d^2}{4} \cdot S_1; Q_2 = \frac{\pi d^2}{4} (S_2 - S_1); \dots; Q_i = \frac{\pi d^2}{4} (S_i - S_{i-1}),$$

где d - диаметр пьезометра, см; J_1, J_2, \dots, J_i - гидравлические градиенты в моменты времени t_1, t_2, \dots, t_i , которые равны

$J_1 = \frac{h_1}{l}; J_2 = \frac{h_2}{l}; \dots; J_i = \frac{h_i}{l}$, где l - толщина слоя исследуемой породы (см) к моменту окончания стабили-

Дата, время

	Нагрузка на породу, кг/см ²	
	Толщина слоя породы после стабилизации осадки, см	
	Продолжительность фильтрации, мин.	
	Начальный напор h , см	
	Понижение уровня воды в пьезометре, S см за время t , с	
	кольца прибора пьезометра	Площадь поперечного сечения прибора
	Средний действующий напор за время t $h_c = h - \frac{S_i - S_{i-1}}{2}$	
	Гидравлический градиент в момент времени $j_i = \frac{h}{l}$	
	Расход воды за время t $Q = \frac{\pi d^2}{4} \cdot (S_i - S_{i-1}), \text{ см}^3$	
	Коэффициент фильтрации $K = \frac{Q}{F \cdot j \cdot t}, \text{ см/с}$	
	Температура $T, ^\circ\text{C}$	
	Температурная поправка ΔT	
	Коэффициент фильтрации при температуре $T, ^\circ\text{C}$	
	Средний коэффициент фильтрации, м/сут $K_{\text{ср}} = \frac{K_1 + K_2 + \dots + K_i}{i}$	
	Примечание	

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ФИЛЬТРАЦИИ ГЛИНИСТЫХ ПОРОД ПРИБОРОМ ПЗ (ПРОВА В...)

Таблица 7

зации осадки при определенной степени нагрузки; h_1, h_2, \dots, h_i
- средние действующие напры ав время t_1, t_2, \dots, t_i
равны

$$h_1 = h - \frac{S_1}{2}; h_2 = h - \frac{S_2 - S_1}{2}; \dots; h_i = h - \frac{S_i - S_{i-1}}{2},$$

где h - начальный напор, см.

25. Рассчитать средний коэффициент фильтрации

$$K_{cp} = \frac{K_1 + K_2 + \dots + K_l}{l},$$

где l - число наблюдений.

26. Поскольку величины h , l и F являются постоянными для каждого прибора ПЗ, коэффициент фильтрации может быть рассчитан по формуле

$$K = \left[f \left(\frac{S}{h} \right) : t \right] \frac{F}{F} \cdot l \cdot 864,$$

где K - коэффициент фильтрации, м/сут; S - понижение уровня воды в пьезометре (см) ав время t , с;
 h - начальный напор, см; f - площадь поперечного сечения пьезометра; см²;
 $f \left(\frac{S}{h} \right)$ - функция, определенная по табл. 2;
 F - площадь поперечного сечения кольца прибора, см²;
 l - толщина слоя породы в кольце после стабилизации уплотнения при каждой ступени нагрузки (длина пути фильтрации) см; 864 - переводной коэффициент ав см/с в м/сут.

27. Чтобы облегчить вычисления, выше приведенная формула может быть записана в виде $K = A \cdot M$,

$$A = \left[f \left(\frac{S}{h} \right) : t \right] \quad \text{и} \quad M = \frac{F}{F} \cdot l \cdot 864.$$

Значения A и M могут быть для каждого прибора приготовлены заранее в виде таблиц.

28. При каждом замере уровня воды в пьезометре произвести замер температуры фильтрующейся воды, вычислить температурную поправку (см. табл. 4) и подсчитать значения коэффициента фильтрации при определенной температуре, например 10°C (см. стр. 20).

29. Все данные, полученные в процессе опыта, и вычисления коэффициента фильтрации занести в журнал (табл. 7)

ЛИТЕРАТУРА

1. Болотникова И.В. Лабораторные работы по курсу "Гидрогеология" - Л.; Изд.ЛГМИ, 1982. - 40 с.
2. Ломтадзе В.Д. Методы лабораторных исследований физико-механических свойств горных пород. - Л.: Недра, 1972. - 100 с.
3. Чаповский Е.Г. Лабораторные работы по грунтоведению и механике грунтов. - Л.: Недра, 1966. - 275 с.

СОДЕРЖАНИЕ

	стр.
Предисловие	3
Определение водопроницаемости горных пород	4
Лабораторная работа № 1. Определение коэффициента фильтрации породы трубкой Каменского	15
Лабораторная работа № 2. Определение коэффициента фильтрации породы трубкой СПЕЦГЕО	20
Лабораторная работа № 3. Определение коэффициента фильтрации породы прибором Д.Капещиго	25
Лабораторная работа № 4. Определение коэффициента фильтрации породы прибором ПВ	29
Литература	37

ИННА ВЛАДИМИРОВНА БОЛОТНИКОВА

Лабораторные работы по курсу "Гидрогеология"
Тема "ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОДОПРОНИЦАЕМОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД"

Редактор Э.В.Ваксенбург

Подписано в печать 8.12.86. Формат бумаги 60 x 90
1/16. Бумага тип. № 2. Печать offsetная. Печ. л. 2/4
Тираж 600 экз. Заказ № 96Р . Бесплатно. ЛГМИ, 1986,
Ленинград, Малоохтинский пр. д. 98

Типография ВВМУПП имени Ленинского Комсомола.