

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
Геологический факультет
Кафедра гидрогеологии, инженерной геологии и геоэкологии

МЕТОДИЧЕСКОЕ РУКОВОДСТВО К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБО-
ТАМ ПО ГИДРОГЕОЛОГИИ
для студентов 3 курса геологического факультета

ЧАСТЬ 2

**Определение водных, капиллярных и фильтрационных свойств
песчаных пород**

Составитель
А.Я. Смирнова

Воронеж - 2000

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕМА 4. ВЛАГОЕМКОСТЬ И ВОДООТДАЧА. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛАГОЕМКОСТИ ПОРОД	3
1. Определение максимальной молекулярной влагоемкости песков.....	3
2. Определение капиллярной влагоемкости песков.....	3
3. Определение полной влагоемкости.....	4
4. Водоотдача песков.....	4
ТЕМА 5. КАПИЛЛЯРНЫЕ СВОЙСТВА ПОРОД	5
ТЕМА 6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ФИЛЬТРАЦИИ ПЕСКО	6
II. Определение коэффициента фильтрации в трубке Каменского.....	8
Определение коэффициента фильтрации песков в приборе КФ-00М.....	11

ТЕМА 4. ВЛАГОЕМКОСТЬ И ВОДООТДАЧА. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛАГОЕМКОСТИ ПОРОД

1. Определение максимальной молекулярной влагоемкости песков.

1. Определение максимальной молекулярной влагоемкости песков производится с помощью металлической трубы (колонна Лебедева, рис 2), высотой 100 см и диаметром 5 см. В дно трубы впаяна конусообразная трубка с сеткой. Вся труба разделена на отсеки длиной 10 см, имеющие винтовую нарезку. При желании вся труба может быть разобрана на составные части.

Ход определения.

1. Заполнить трубу песком с легкой трамбовкой.
2. Водонасытить песок снизу через резиновую трубку из напорного бачка.
3. Снять резиновую трубку с дна прибора и дать гравитационной воде свободно стечь. Оставить трубу в покое на сутки.
4. Взять шпателем навеску песка по 30-50 г из каждого отсека в предварительно взвешенные металлические бюксы и взвесить на технических весах.
5. Высушить взятые пробы до постоянного веса в сушильном шкафу, взвесить и для каждой пробы вычислить влажность.
6. По полученным данным выделить в верхней части прибора зону постоянной влажности, в которой влажность колеблется в пределах десятых долей процентов; влажность этой зоны представляет собой максимальную молекулярную влагоемкость. (Таблица 7).

Журнал определений максимальной молекулярной влагоемкости и капиллярной влагоемкости песков методом высоких колонн.

Таблица 7.

Номер бюкса и трубки	Влажность в %	Зона влажности	Влагоемкость в %	
			Максимальная молекулярная	Капиллярная
1	1,5	устойчивой влажности	1,8	15,2
2	1,7			
3	1,6			
4	1,8			
5	1,9			
6	1,7			
7	6,2	переходная максимальной влажности		
8	14,8			
9	15,0			
10	15,7			

2. Определение капиллярной влагоемкости песков.

Капиллярной влагоемкостью W_K называется максимальное количество воды, удерживаемое в капиллярных порах.

Для глинистых грунтов и мелкозернистых песков капиллярная влагоемкость мало отличается от полной влагоемкости.

Определение капиллярной влагоемкости производится в колонне Лебедева.

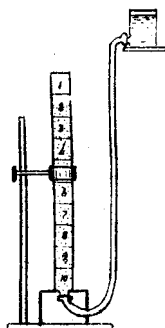


Рис.2. Прибор для определения максимальной молекулярной влагоемкости песков.

1. По прекращении стока из прибора гравитационной воды, взять из нижних трех отсеков пробы песка в количестве 80-100 г каждая, в предварительно взвешенные металлические бюксы и взвесить .
2. Высушить пробы песка в сушильном шкафу до постоянного веса.
3. Вычислить для каждой пробы влажность, которая в зоне максимальной влажности характеризует капиллярную влажность (таблица 7).
4. Данные опыта записать в журнал.

3. Определение полной влагоемкости.

Полной влагоемкостью W_p называется максимальное количество воды, заключенное в породе при полном насыщении её водой. При таком состоянии породы водой заполняются все поры и пустоты.

Определение полной влагоемкости производится следующим образом:

1. В предварительно взвешенный стеклянный или металлический стакан, объемом 200 см, насыпать с легкой утрямбовкой испытуемый песок.
2. Насытить песок водой до появления на поверхности песка тонкой пленки воды и взвесить.
3. Высушить навеску в сушильном шкафу при температуре 105° до постоянного веса и вычислить влажность, которая будет равна искомому значению полной влагоемкости.

4. Водоотдача песков.

Водоотдачей называется способность песков, насыщенных водой, отдавать её под действием силы тяжести. Для песчаных пород водоотдача численно равна разности между полной влагоемкостью и максимальной молекулярной влагоемкостью.

Водоотдачу песков можно приближенно вычислить по разности между пористостью и максимальной молекулярной влагоемкостью.

Пример. Полная влагоемкость $W_t = 30,5\%$. Максимальная молекулярная влагоемкость $W_m = 5,0\%$. Следовательно, водоотдача равна $B = W_t - W_m = 30,5 - 5,0 = 25,5\%$.

В гидрогеологии пользуются понятием - недостаток насыщения, μ . Под этим термином понимается количество воды, необходимое для полного водонасыщения породы. Величина недостатка насыщения численно равна водоотдаче.

ТЕМА 5. КАПИЛЛЯРНЫЕ СВОЙСТВА ПОРОД

Под капиллярными свойствами пород понимают высоту и скорость капиллярного поднятия воды в порах породы.

Определение высоты капиллярного поднятия.

1. Взять стеклянную трубку диаметром 2-3 см и высотой 0,5 - 1,0 м. Нижний конец обвязать марлей и наполнить через воронку песком с легкой трамбовкой. Песок загружать в трубку так, чтобы не происходила сортировка зерен, падающих в воздухе внутри трубки. С этой целью присоединить к концу воронки резиновую трубку и вначале опустить её на дно трубки, а затем, по мере загрузки, приподнимать кверху.

2. Укрепить трубку с песком на штативе. Опускать нижний конец ее в воду на 0,5 - 1 см. Этот уровень поддерживать в течение всего опыта.

3. Заметить время погружения трубки в воду и следить за скоростью поднятия воды по окраске песка, меняющейся вследствие увлажнения его поднимающейся водой. При неравномерном поднятии воды отсчеты брать по среднему уровню. Считать нужно не от погруженного конца, а от поверхности воды.

4. Положение уровня воды отмечать сначала через 5, 10, 20, 30 мин., а затем через час, полтора, два, три и сутки от начала опыта.

5. Полученные данные отмечать в журнале (таблица №8) и построить график зависимости скорости движения капиллярных вод от высоты капиллярного поднятия.

Журнал определения высоты капиллярного поднятия в песках.

Таблица №8.

Время от начала опыта	Высота поднятия воды в мм	Скорость движения капиллярной воды $V = \frac{s}{t}$ мм/мин
5 мин.	84	16,8
10"	171	17,1
20"	207	10,3
30"	221	7,3
1 час	240	6,0
1 час.30 мин.	250	2,7
2 часа	275	2,2
3"	280	1,5
сутки	320	0,23

ТЕМА 6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ФИЛЬТРАЦИИ ПЕСКОВ

Определение коэффициента фильтрации песков осуществляется в приборе Тима, трубке Каменского и приборе КФ - 00М.

1. Определение коэффициента фильтрации песков в приборе Тима (рис.3)

1. Описание прибора.

Основной частью прибора является металлический цилиндр с глухим дном. В нижнюю часть, на 5 см выше дна цилиндра, вкладывается плотная сетка. Цилиндр имеет три боковые трубки, которые соединяются со стеклянными пьезометрами, выведенными на панель с миллиметровой шкалой. У верхнего края цилиндра с другой стороны имеется ещё одна боковая трубка с резиновым шлангом для стока вода. Такая же трубка находится в нижней части цилиндра под сеткой. К ней присоединяется резиновая трубка, предназначенная для насыщения песка водой и для регулирования напора и стока фильтрующейся воды во время опыта.

2. Загрузка прибора.

Измерить объем цилиндра до высоты наполнения песком (на 1 см выше верхнего отверстия пьезометра) и по заданной плотности, соответствующей естественной, вычислить навеску песка. Навеску тщательно перемешать и засыпать небольшими порциями с легкой трамбовкой в цилиндр на сетку, следя за тем, чтобы песок распределялся равномерно по сечению цилиндра. Поверх песка насыпать слой гравия толщиной 2 - 3 см для предохранения песка от размыва водой.

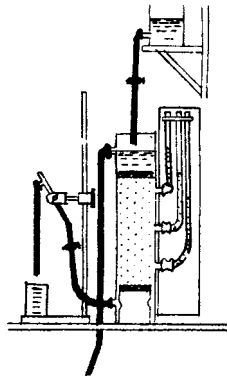


Рис.3. Прибор Тима для определения коэффициента фильтрации.

Капиллярно насытить песок водой через нижнюю трубку, которую для этой цели соединить с водным резервуаром. Водонасыщение производится для удаления заземленного воздуха и для заполнения всех пор водой. В процессе насыщения наблюдать за наполнением водой пьезометрических трубок и следить за тем, чтобы в их нижних концах не задерживался воздух. Для этого после появления воды в трубках удалять пузырьки воздуха, сжимая соединительные резиновые трубки. Пузырьки воздуха можно удалить также наклоняя прибор в сторону, противоположную пьезометрическим трубкам.

По окончании насыщения подачу воды снизу повысить, чтобы она появилась над поверхностью песка. Затем прекратить подачу воды снизу. Зажать резиновую трубку винтовым зажимом, отсоединить ее от резервуара и укрепить на штативе в лапке на уровне поверхности песка. Подача воды в прибор для фильтрации осуществляется сверху через сифон, связанный с водным резервуаром. Установить с помощью винтового зажима очень слабый ток воды из резервуара, необходимый для поддержания уровня воды в приборе на одной высоте. При этом избыток воды из прибора будет стекать из верхней боковой трубки.

3. Ход определения.

Сразу после загрузки прибора и водонасыщения песка проверить работу пьезометров. Для этого поднять нижнюю боковую трубку до верха цилиндра. В этом случае уровни воды в пьезометрических трубках должны устанавливаться на одной высоте. При хорошо водопроницаемом песке это происходит быстро в течение 1-2-х минут. Отметить на миллиметровой шкале положение уровней воды в пьезометре и принять его за первоначальное, от которого вести дальнейшие отсчеты. После этого приступить к опытам.

1) Опустить регулирующую трубку, зажатую лапкой на штативе, на несколько см ниже уровня воды в приборе, примерно, на высоту колена первого пьезометра. В результате этого в приборе создается напорный градиент, под влиянием которого осуществляется фильтрация воды с соответствующей скоростью.

Для измерения напорного градиента вести наблюдения за показаниями пьезометрических трубок до тех пор, пока в них не установится постоянный уровень.

Данные наблюдения записывать в журнал.

Первую запись произвести тогда, когда вода в трубках займет стационарное положение (на глаз), вторую запись - через 5 минут, после первой. Если при этом уровень окажется тот же, что и при первой записи, можно приступить к измерению расхода фильтрующей воды.

2) По достижении стационарного положения уровня в пьезометрических трубках замерить расход воды в течение 5 мин. при помощи мерного сосуда.

3) После измерения расхода воды снова записать показания пьезометрических трубок. Если их показания до и после расхода окажутся одинаковыми, то это явится свидетельством стационарного уровня (положения) воды во время опыта. Если же после измерения расхода показания пьезометрических трубок изменятся, то в случае малого изменения (не более - 2-3 мм) можно при вычислении взять среднее из двух показаний.

4) После замера расхода воды и взятия контрольных отсчетов по пьезометрическим трубкам, повторить опыт еще при двух напорах, величина которых регулируется положением трубки на штативе.

Целесообразно начать определение с минимальных величин падения напора (1-2 см), дойти до максимально возможного в данном приборе.

Во время опытов одновременно со снятием отсчетов по пьезометрам производить замеры температуры воды в двух местах: в цилиндре при входе воды в грунт и в мерном сосуде при выходе воды, профильтровавшейся через грунт. Для расчета берется среднее арифметическое из двух замеренных температур.

19. Вычислить для каждого опыта температурную поправку по формуле

$$\tau = 0.7 + 0.03t$$

температура воды при опыте - t

По данным каждого опыта произвести расчет коэффициента фильтрации по формулам:

$$K = \frac{v}{J}; v = \frac{Q}{F}; Q = \frac{\varpi}{t}; F = \frac{\pi \cdot d^2}{4}; J = \frac{\Delta h}{l}$$

где v - скорость фильтрации в см/сек;

Q - расход воды в см³/сек;

F - площадь поперечного сечения прибора в см²;

J - напорный градиент;

Δh - разность уровней воды в см;

l - расстояние между пьезометрическими трубками по оси прибора

в см.

21. Вычисленные значения коэффициентов фильтрации привести к температуре 10°, пользуясь температурной поправкой: $K_{10} = \frac{K}{\tau}$

22. Данные опыта занести в журнал (таблица № 9).

Журнал определения коэффициента фильтрации в приборе Тима.

Внутренний диаметр прибора - d см.

Площадь сечения фильтрующей колонны - $\frac{\pi d^2}{4}$ см².

Расстояние между пьезометрическими трубками по оси прибора - см.

Таблица №9.

№ опыта	Кол-во профил. воды в см ³	Время филт-рац. в сек	Расход в см ³ /сек	Скорость филт-рац. в см/сек	Средн. разн. уровн. воды	Напор градиент	Коэф. филт-рац. в см/сек	Температ. поправка	Коэф. Фильтрации при 10° см/сек
1.	ϖ	T	$Q = \frac{\varpi}{t}$	$V = \frac{Q}{F}$	Δh	$J = \frac{\Delta h}{l}$	$K = \frac{v}{J}$	τ	$K_{10} = \frac{K}{\tau}$
	111,0	525	0,210	0,0035	2,0	0,20	0,017	1,18	0,0144

Необходимое оборудование и материалы: прибор Тима, два термометра, мерный стакан, секундомер, резервуар с водой (стеклянный стакан с сифоном), деревянная трамбовка, штатив, резиновая трубка диаметром 0,8 - 1 см, длиной 1 м, четыре зажима.

II. Определение коэффициента фильтрации в трубке Каменского.

Прибор состоит из стеклянной трубки (рис.4) диаметром 2-4 см, длиной около 25 см, на которой имеется миллиметровая шкала. На нижнем конце труб-

ки укрепляется сетка или конец завязывается марлей. На дно марли насыпается гравий, препятствующий проникновению песка.

1. Загрузка прибора.

Скрепить трубку на штативе и осторожно небольшими порциями наполнить трубку песком до высоты 10 см, с легкой трамбовкой. По мере заполнения вести водонасыщение песка. Увеличить подачу воды снизу, чтобы она образовала над песком слой в 1-2 см. Насыпать над песком слой гравия толщиной 1-2 см для предохранения песка от размыва. Разметить шкалу так, чтобы деление находилось вверху трубки, а конец ее принять за 20.

Ход определения

1. Поставить под трубку стакан для сбора фильтрующейся воды.
 2. Наполнить трубку водой сверху и произвести 3 наблюдения за падением уровня воды в трубке. Вторично заполнить трубку водой и секундомером отметить момент прохождения мениска воды в трубке через нулевое деление, а затем через ряд последовательных делений: 3, 5, 7.
 3. Данные опыта записать в журнал.
 4. Для контроля вновь наполнить трубку водой и повторить наблюдения.
 5. Одновременно с наблюдениями произвести замер температуры воды.
- Для расчёта коэффициента фильтрации Г.Н. Каменским предложена формула:

$$K = \frac{l}{T} \phi \left(\frac{S}{h_0} \right),$$

где К - коэффициент фильтрации

h_0 - первоначальный напор

S - падение уровня

l - длина пути фильтрации (высота столба песка в трубке).

Для удобства вычислений Г.Н.Каменским составлена таблица ряда значений, которыми следует пользоваться при расчете коэффициента фильтрации.

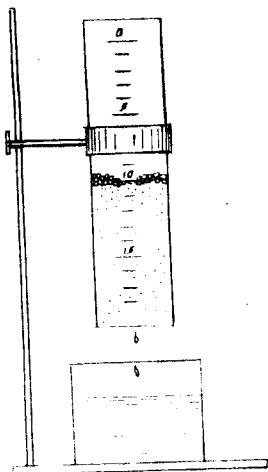


Рис.4. Установка трубки Каменского.

Журнал определений коэффициента фильтрации в трубке Каменского

Таблица №10.

№ опы-та	Краткое описание породы	Первоначальный напор см	Падение уровня	Время фильтрации сек	Напор	Значение функции	Длина пути фильтрации см	Коэффициент фильтрации	Температура в °С	Температурная поправка	Коэффициент фильтрации при 10° см/сек
	Мелкозернистый песок	h_0	S	T	$\frac{S}{h_0}$	$\varphi\left(\frac{S}{h_0}\right)$	l	$K = \frac{l}{t} \varphi\left(\frac{S}{h_0}\right)$	t	τ	$K_{10} = \frac{K}{\tau}$
		20	5	960	0,265	0,308	10	0,0031	16	1,18	0,0026

Необходимое оборудование: стеклянная трубка длиной 30 см с миллиметровой шкалой, секундомер, термометр, штатив с лапкой, 2 стеклянных стакана.

Таблица значений функций $\varphi\left(\frac{S}{h_0}\right) = -\ln\left(1 - \frac{S}{h_0}\right)$ (к опытам в трубке Каменского)

Таблица №11.

$\frac{S}{h_0}$	$\varphi\left(\frac{S}{h_0}\right)$	Δ	$\frac{S}{h_0}$	$\varphi\left(\frac{S}{h_0}\right)$	Δ	$\frac{S}{h_0}$	$\varphi\left(\frac{S}{h_0}\right)$	Δ
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,01	0,010	0,010	0,34	0,416	0,015	0,67	1,109	0,030
0,02	0,020	0,010	0,35	0,431	0,015	0,68	1,139	0,033
0,03	0,030	0,010	0,36	0,446	0,016	0,69	1,172	0,032
0,04	0,040	0,011	0,37	0,462	0,016	0,70	1,204	0,034
0,05	0,051	0,011	0,38	0,478	0,016	0,71	1,238	0,035
0,06	0,062	0,010	0,39	0,494	0,016	0,72	1,273	0,036
0,07	0,073	0,010	0,40	0,510	0,017	0,73	1,309	0,038
0,08	0,083	0,011	0,41	0,527	0,018	0,74	1,347	0,039
0,09	0,094	0,011	0,42	0,545	0,017	0,75	1,386	0,041
0,10	0,105	0,012	0,43	0,562	0,018	0,76	1,427	0,043
0,11	0,117	0,011	0,44	0,580	0,018	0,77	1,470	0,044
0,12	0,128	0,011	0,45	0,598	0,018	0,78	1,514	0,047
0,13	0,139	0,012	0,46	0,616	0,019	0,79	1,561	0,048
0,14	0,151	0,012	0,47	0,653	0,019	0,80	1,609	0,052
0,15	0,163	0,011	0,48	0,654	0,019	0,81	1,661	0,054
0,16	0,174	0,012	0,49	0,673	0,020	0,82	1,715	0,056
0,17	0,186	0,010	0,50	0,693	0,020	0,83	1,771	0,062
0,18	0,196	0,014	0,51	0,713	0,021	0,84	1,833	0,064
0,19	0,210	0,013	0,52	0,734	0,021	0,85	1,897	0,069
0,20	0,228	0,013	0,53	0,755	0,022	0,86	1,966	0,074
0,21	0,236	0,012	0,54	0,777	0,022	0,87	2,040	0,080
0,22	0,248	0,013	0,55	0,799	0,022	0,88	2,120	0,087
0,23	0,261	0,013	0,56	0,821	0,023	0,89	2,207	0,096
0,24	0,274	0,014	0,57	0,844	0,024	0,90	2,303	0,105
0,25	0,288	0,013	0,58	0,868	0,024	0,91	2,408	0,118

1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,26	0,301	0,014	0,59	0,892	0,025	0,92	2,526	0,133
0,27	0,315	0,014	0,60	0,916	0,025	0,93	2,659	0,154
0,28	0,329	0,017	0,61	0,941	0,026	0,94	2,813	0,183
0,29	0,346	0,011	0,62	0,967	0,027	0,95	2,996	0,223
0,30	0,357	0,014	0,63	0,994	0,028	0,96	3,219	0,298
0,31	0,371	0,014	0,64	1,022	0,028	0,97	3,507	0,405
0,32	0,385	0,015	0,65	1,050	0,029	0,98	3,912	0,693
0,33	0,400	0,016	0,66	1,079	0,030	0,99	4,605	

Определение коэффициента фильтрации песков в приборе КФ-00М

Прибор состоит из металлического стакана с заостренным краем, дна, которое надевается на нижнюю часть цилиндра, и латунной сетки, вставляемой в дно. На верхнюю часть цилиндра устанавливается муфта с латунной сеткой и со стеклянным мерным цилиндром (мариоттовым сосудом), на одной стороне которого нанесена миллиметровая шкала. Телескопическое приспособление, состоящее из подставки, винта и планки с делениями напорного градиента от 0 до 1.

Ход определения.

1. Заполнить металлический стакан песком с легкой трамбовкой и определить его объемный вес (тема 2).
2. Произвести водонасыщение песка снизу, так, чтобы сверху выступила вода.
3. Надеть дно на стакан прибора, поместить прибор в телескопическое приспособление и вращением винта поднять подставку до совмещения отметки на планке напорного градиента величиной 1 с верхним краем крышки.
4. Заполнить мерный цилиндр водой, опрокинуть над трубкой и укрепить в верхней крышке, которая одевается на другой конец металлического стакана. Горлышко сосуда должно отстоять от поверхности грунта на 0,6 - 1 мм. В таком виде мерный цилиндр автоматически поддерживает над грунтом постоянный уровень воды в 1 - 2 мм. Как только, вследствие фильтрации воды, уровень понизится в мерный цилиндр прорвется пузырек воздуха и соответствующее количество воды из него выйдет. Этим достигается постоянство градиента.
5. Заметить по шкале уровень воды в цилиндре, пустить секундомер и через определенный интервал времени (100 сек) заметить второй уровень.
6. Для контроля вновь заполнить цилиндр водой и повторить наблюдения. Повторить наблюдения несколько раз и вычислить среднее значение коэффициента фильтрации.

Рассчитать коэффициент фильтрации по формуле:

$$K = \frac{Q \cdot 864}{TF},$$

где Q - объем воды профильтровавшейся за время T, в см³.

T - время фильтрации в сек.

F - площадь поперечного сечения трубки, см²

864 - переводной коэффициент размерности из см/сек в м/сут.

Таблица №12.

№ опыта	Описание песка	Время фильтрации	Объем профильтровавшейся воды, см	Коэффициент фильтрации см/сек	Средн. коэффициент фильтрации см/сек	Температура воды	Температурная поправка	Коэффициент фильтрации при 10°C м/сут
		T	Q	K	K _{ср}	t	τ	$K_{10} = \frac{K}{\tau} 864$
1.	Мелкозернистый песок	286	20	0,0025	0,0025	18	1,24	1,8

Список литературы см. ЧАСТЬ 3.

Методическое руководство составила А.Я. Смирнова