

Ответственный редактор инж. Гиршкан И. А. Технический редактор Шумович А. А.
Сдано в производство 5/1—32 г. Подписано к печати 30/V—32 г.
 $\frac{1}{16}$ доля 62×88—4 печ. л.

Главлит А—90.445.

Зак. 2764.

Тираж 2.000.

21 тип. „Мособлаполиграф“ Москва, ул. Разина, Елецкий пер. д. 7.

ПРЕДИСЛОВИЕ.

Успешное выполнение пятилетки требует рационализации строительства—как одной из необходимых предпосылок.

Для рационализации, в частности, безусловно необходимо знание и точный учет естественных факторов, к числу которых относятся грунтовые воды и особенно их движение.

Наиболее точно и полно изучение движения грунтовых вод, изучение водоотдачи грунтов—может быть сделано в натуре; однако отсутствие систематических сводок сведений по полевым исследованиям грунтовых вод—несомненно являлось одной из причин недостаточного развития этих исследований и их разнобойности.

Последние обстоятельства и явились причиной заставившей нас в порядке ударничества и социалистического соревнования по эстафете хлопковой независимости срочно составить настоящий краткий труд по полевым исследованиям грунтовых вод. В нем мы систематизировали имеющиеся сведения по ходовым исследованиям и привели несколько новых приемов.

§§ 1 и 3 написаны Е. Замариным, § 2 Г. Архангельским и § 4 М. Решеткиным.

Авторы.

Ташкент, 1931 г.

§ I. ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ ДВИЖЕНИЯ ГРУНТОВЫХ ВОД.

п. 1. Закон Дарси.

Основной закон о движении грунтовых вод был дан Дарси в 1856 г.: в результате его опытных работ с фильтрацией в песках в следующем виде,

$$Q = \omega v = \omega k i \dots \dots \dots (1)$$

$$\text{или } v = k i \dots \dots \dots (2)$$

где Q — расход потока,

ω — площадь поперечного сечения потока (например — поперечная площадь опытной трубы, загруженной грунтом), i — уклон потока, равный отношению разности напоров H на длине l к той же длине, т. е. $i = H : l =$

v — скорость фильтрации, предоставляемая как средняя фиктивная скорость движущейся воды через все поперечное сечение потока, т. е. считая и площадь пор грунта (по которым собственно и происходит движение) и площадь сечения по частицам грунта,

k — коэффициент фильтрации грунта — являющийся характеристикой фильтрационных свойств его.

Нетрудно видеть, что коэффициент фильтрации k является скоростью фильтрации при единичном уклоне (т. е. когда уклон равен единице, $i = 1$).

Зависимость между скоростью фильтрации и средней скоростью движения воды в порах грунта n устанавливается в виде

$$v = p \cdot n \dots \dots \dots (3)$$

где p — порозность грунта, выражаемая отношением площади пор к общей валовой площади поперечного сечения (считая и площадь пор и площадь сечения по частицам грунта), или при однородном по составу и структуре грунте — выражаемая отношением объема пор к общему объему грунта.

Оценка движения грунтовых вод скоростью фильтрации v — величиной фиктивной, равно как и коэффициентом фильтрации — нашли широкое применение в практике вследствие своей простоты, позволяющей бесконечно-разнообразные отдельные течения в порах грунта заменить некоторым средним течением по всей толще грунта с возможностью, в случае надобности, перехода к осредненным скоростям в порах.

Совпадение теоретических выводов с экспериментом послужило основанием широкого распространения в практике закона Дарси для однородных по составу и структуре грунтов, позволяя распространить его и на неоднородные грунты для случаев установившегося движения грунтовых вод, происходящего в одних и тех же границах.

В более общем случае, когда имеется произвольное распределение масс грунтов различной структуры и состава для установившегося движения и постоянных границ области движения, коэффициент фильтрации также будет постоянен; но с изменением границ области движения (например, при повышении или понижении уровня грунтовых вод), когда будут включаться в движение новые массы грунта иной структуры и состава, то и общий коэффициент фильтрации тоже будет изменяться.

п. 2. Степенные зависимости.

Закон Дарси дает линейную зависимость между скоростью и уклоном; такая зависимость характеризует струйное движение, наблюдаемое и в открытых потоках при небольших скоростях движения. Для открытых потоков Рейнольдсом установлены предельные скорости, ниже которых движение будет струйным и выше которых—турбулентным, беспорядочным, с пульсацией и перемешиванием струй. Аналогично этому и в потоке подземных вод при больших скоростях возможно нарушение струйного движения и переход к турбулентному.

Однако такого резкого раздела видов движения, который наблюдается в открытых потоках, здесь не бывает вследствие того, что поры грунта в действительности имеют весьма различные формы и размеры; так для узких пор может еще сохраняться струйное движение, в то время как движение по более крупным порам уже перешло в состояние турбулентного.

Вследствие сказанного, только для грунтов с очень крупными порами (галечниковые, гравелистые), при больших уклонах потока закон движения воды через них будет совпадать с законом движения надземного потока, т.е. будет выражаться формулой Шези

$$V = C \sqrt{Ri} = S \sqrt{i} \dots \dots \dots (4)$$

указывающей, что скорость движения пропорциональна не первой степени уклона, а корню квадратному из уклона.

Для грунтов, имеющих и крупные и мелкие поры (гравелисто-песчаные, галечниково-песчаные и др.), а также и для грунтов мелкозернистых, но движение сквозь которые будет совершаться при больших уклонах,—зависимость между скоростью и уклоном будет иметь промежуточное значение, именно

$$V = ki^n, \text{ где } 0,5 < n < 1,0 \dots \dots \dots (5)$$

или в более общем виде

$$av^2 + bv = i \dots \dots \dots (6)$$

где a и b опытные коэффициенты, характеризующие водопропускную способность грунта.

Последнее уравнение более соответствует характеру движения воды через грунты—выражение av^2 как бы учитывает влияние турбулентного движения, а выражение bv —влияние струйного движения.

Опытами ИВХ¹⁾ установлено, что для мелкозернистых грунтов (мелкие пески, легкие суглинки) закон Дарси соблюдается довольно точно, нарушаясь с приближением к тем уклонам, при которых грунт делается неустойчивым, близким к разрушению.

Для крупных песков, содержащих частиц размерами 1—2 мм в количестве 90% и частиц 2-3 мм—8,5%, при порозности их около 40-41%

¹⁾ ИВХ или ОИИВХ сокращенно Опытн.-Исследов. Ин-т Водного Хозяйства в Ташкенте

и температуре воды 10°C, зависимость между скоростью и уклоном, как предварительная, получилась следующей:

$$V + 0,5v^2 = 6,6i \dots\dots\dots (7)$$

где *v* в мм/сек., *i*—абсолютный уклон.

При соотношении содержания указанных частиц 87% и 12%, и при тех же остальных условиях, зависимость переходит в

$$V + 0,08v^2 = 11i \dots\dots\dots (8)$$

Формулы 7 и 8 указывают небольшое значение множителя *av*² и для уклонов *i* ≤ 5% влиянием его можно пренебречь.

Для гравелистых грунтов, содержащих 98% частиц размерами 20-10 мм и 2% остальных (более крупных) при порозности в 40-41% и температуре в 27°C, зависимость скорости от уклона получилась в виде

$$bv + 3,1 v^2 = 10000 i \dots\dots\dots (9)$$

где *v* в мм/сек. *i*—абсолютный уклон и коэффициент *b*, изменяющийся от 4 до 7,5, в среднем равный 5,8 для *i* ≤ 2,5—3%.

Последняя формула может быть заменена следующей

$$u = 120 \sqrt{i} \dots\dots\dots (10)$$

где *u* в мм/сек. и *i* абсолютный уклон—для случая среднего сечения поры круглой формы при коэффициенте шероховатости по Базену γ от 1,3 до 1,5 для *i* ≤ 3% (уменьшая γ с увеличением уклона).

п. 3. Коэффициент фильтрации.

Коэффициент фильтрации выше был определен, как скоростная характеристика, т. к. он представляет собою скорость фильтрации при уклоне равном 100%.

Величина коэффициента фильтрации существенно зависит от механического состава и структуры грунта. Представление о составе и строении грунта получается из данных механического анализа и определения его порозности; механический анализ дает групповые характеристики состава грунта, указывая % содержания отдельных фракций зерен. Для графического изображения состава грунта по результатам анализа его, строят кривую весового участия фракций; так, например, пусть мы имеем следующие данные механического анализа:

Таблица 1

Размер частиц фракций в мм	0—0,01	0,01—0,05	0,05—0,10	0,10—0,25	0,25—0,5	0,5—1,0
% содержание по отношению к общ. весу.	2	6	12	30	25	25

По этим данным строим кривую веса следующим образом: по оси абсцисс откладываем диаметры частиц: 0.01, 0.05, 0.1 и т. д., на ординате —соответствующее диаметру 0.01 мм, число %% указывающее соответствующую часть веса частиц размерами до 0.01 мм (т. е. 2); на ординате у абсциссы 0.05 мм откладываем число %% , указывающее часть веса частиц размерами до 0.05 мм (т. е. 2+6=8), и т. д.; очевидно, что высота последней ординаты (для частиц в 1 мм) будет равна 100%=1 (рис. 1).

Кривая механического состава строилась в зависимости от диаметра частиц, т. е. тем самым как бы предполагалась шаровая форма их, в то время как частицы естественного грунта имеют вообще чрезвычайно разнообразную форму. Однако, ввиду того, что точная оценка механического состава грунтов по форме и количеству отдельных частиц его практически невозможна — принята такая условная, групповая оценка его состава, когда частицы в пределах каждой фракции прини-

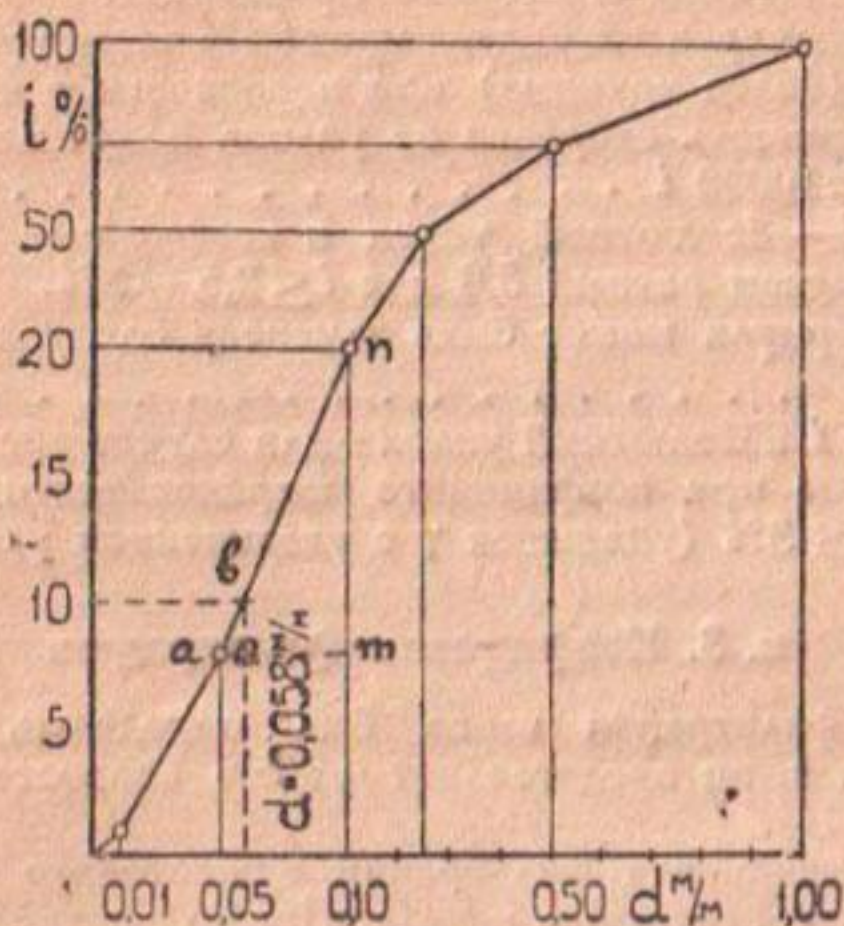


Рис. 1.

маются шаровой формы с диаметрами соответствующих сит и, кроме того, в заданных границах полагают грунт однородным по составу и порозности, т. е. имеющим в любой части заданной области одинаковые механический состав и порозность.

п. 4. Температурный коэффициент.

На скорость спокойного, струйного движения значительное влияние оказывает вязкость жидкости, зависящая, в свою очередь, от температуры воды.

Учет влияния последней, а тем самым вязкости, удобнее всего сделать в виде введения особого температурного коэффициента τ ; так если обозначить коэффициент фильтрации при температуре $t=0^{\circ}\text{C}$ через k_0 для иной температуры t коэффициент фильтрации будет иметь выражение.

$$K = \tau K_0 \dots \dots \dots (11)$$

где для τ связь с температурой выразится так ¹⁾

$$\tau = 1 + 0,036 t \dots \dots \dots (12)$$

¹⁾ См. „Итоги работ Оп.—Исслед. Ин-та Вод. Хоз.“.

Теоретические формулы для коэффициента фильтрации.

Для песчаных грунтов пригодна переработанная ¹⁾ формула А. Газена.

$$K_{27} = C d_n^2 \text{ мм/сек.} \dots \dots \dots (13)$$

где К — коэф. фильтрации для температуры 10° Цельсия,

С — коэффициент, учитывающий загрязненность песков мельчайшими частицами,

d_n — действующий диаметр частиц грунта.

Формула применима для d_n от 0,1 до 3,0 мм.

Величину действующего диаметра Газен определяет, как размер частиц того составленного из одинаковых зерен грунта, который имеет ту же пропускную способность, что и данный грунт; Газен установил, что d_n есть размер тех частиц, меньше которых содержится в грунте 10% по весу (см. рис. 1).

Для выбора величины коэффициента С, Газен не дает конкретных указаний. ИВХ предлагает для коэффициента следующие величины в зависимости от процентного содержания частиц размерами 0—0,05 мм или в зависимости от % % содержания частиц 0—0,01 мм и 0,01—0,05 мм.

Таблица 2.

№№ \ мм	0.05—0.01	0.01—0	0.05—0	С
1	0.2	0.2	0.5	1.2
2	0.5	0.5	1.5	1.1
3	1.0	1.0	3.0	1.0
4	2.0	2.0	5.0	0.9
5	3.5	3.0	7.0	0.8

В тех случаях, когда для песчаных грунтов кроме механического состава будет известна и порозность, можно применять вместо формулы (13) видоизмененную формулу Крюгера, которая согласно выводов работ ИВХ получила следующее выражение для $t=10^\circ\text{C}$

$$K = 2,8 \frac{p}{\theta^2} 10^4 \text{ мм/сек.} \dots \dots \dots (14)$$

где р — общая порозность грунта,

θ — так называемая „удельная поверхность“, т. е. сумма поверхностей (в кв. см.) частиц, содержащихся в 1 куб. см. грунта.

Для примера пользования приведенными формулами, рассмотрим определение коэффициента фильтрации грунта следующего состава.

¹⁾ См. „Итоги работ ОИИВХ“

Таблица 3.

d мм	0.50—0.25	0.25—0.05	0.05—0.01	0.01—0
$g\%$	67.1	31.1	0.3	1.5
d средн.	0,375	0.150	0.030	0.005
$g:d$	1.79	2.07	0.10	3.00

Здесь d в мм — показывает диаметр фракций грунта, получаемых отсеиванием на ситах или отмучиванием.

g — % состав (по весу) каждой фракции.

d в мм — средний диаметр фракции.

Удельная поверхность в кв. см. θ получается из уравнения¹⁾

$$\theta = 60 \cdot (1-p) \sum \frac{g}{d} \dots \dots \dots (15)$$

В нашем случае при $p = 0.43$,

θ равна:

$$\theta = 60 \cdot 0,57 \cdot 6,96 = 237 \text{ кв. см.}$$

Действующий диаметр по Газену получается или из кривой механического состава (рис. 1), где для абсциссы равной 10% получаем соответствующий действующий диаметр, или из приведенной выше таблицы механического состава грунта путем линейного интерполирования²⁾.

$$d_n = 0.05 + \frac{10 - (0.3 + 1.5)}{31 \cdot 1} (0.25 - 0.05) = 0.102 \text{ мм} \quad (16)$$

Подставляя полученные значения d_n и $C = 1$ в формулы получаем:

$$k = 1,0 \times 27 \times 0,102^2 = 0,28 \text{ мм/сек.}$$

1) При подсчете отношений g к d надо иметь в виду следующее: т. к. g указываются в %%, то действительное отношение g к d напишется так: пусть $g = 36,1\%$,
 $d = 0,375$ мм. тогда

$$g:d = 0,361 : 0,375 = 0,96,$$

или $g:d = 36,1 : 37,5 = 0,96$.

Вторая форма проще, ею и следует пользоваться, т. е. следует число %% g делить на увеличенный в 100 раз средний диаметр в мм. Далее удельная поверхность θ вообще равна $\theta = 6 (1-p) \sum \frac{g}{d}$, но так как мы при исчислении отношения g к d диаметр измеряли в мм, то при измерении его в см абсолютное число, его характеризующее, уменьшится в 10 раз (10 мм = 1 см), а следовательно отношение g к d увеличится в 10 раз. Поэтому для удельной поверхности измеряемой в кв. см. следует применять формулу (15).

2) Последнее соотношение получается, как следствие подобия треугольников abc и ant (рис. 1) в которых линия ast лежит на расстоянии 8% от оси абсцисс, точка b отстоит на 10% от той же оси, а точка n на расстоянии 20%; от вертикальной оси расстояния до этих точек следующие: до точки a —0,05 мм; до точки b и c —искомый действующий диаметр, до точек n и t —0,10 мм.

Из подобия треугольников можно написать:

$$d_n = 0.05 + ac = 0,05 + \frac{at \times bc}{nt}, \text{ т. е.}$$

$$d_n = 0.05 + \frac{(0,10 - 0,05) (10 - 8)}{20 - 8} = 0,058 \text{ мм.}$$

По формуле 14 получаем ³⁾

$$k = \frac{2,8 \times 0,43}{2,37^2} = 0,22 \text{ мм/сек.}$$

Наблюденный в опыте коэффициент фильтрации получился равным $k = 0,24 \text{ мм/сек.}$

Для грунтов суглинистых (лесс), с нарушенной структурой, искусственно уложенных, можно предложить следующую формулу коэффициента фильтрации для $t = 10^\circ\text{C}$

$$k = \frac{1,8}{\theta^3} \rho \cdot 10^4 \text{ в мм/сек.} \dots \dots \dots (17)$$

при прежних обозначениях.

Для суглинков с ненарушенной структурой и незакольматированных среднего состава, пользуясь данными полевых опытов гидрогеолога

Таблица 4.

$d \text{ мм}$	0,5—0,25	0,25—0,05	0,05—0,01	0,01—0
$g\%$	0,2	4,0	43,3	52,5

Г. И. Архангельского, можно установить следующую формулу коэффициента фильтрации

$$k = 4,2 \frac{\rho}{\theta^3} 10^4 \text{ мм/сек.} \dots \dots \dots (18)$$

Формула эта по сравнению с предыдущей указывает на значительную фильтрацию в естественных суглинках, по сравнению с суглинками нарушенной структуры, что объясняется, повидимому, наличием более

³⁾ Значение θ часто выражается трехзначным числом, поэтому от множителя 10000 можно избавиться, разделив и числитель и знаменатель на $100^2 = 10000$, тогда в числителе вместо 10000 останется единица, а в знаменателе θ — уменьшенная в 10000 раз, например при $\theta = 458 \text{ кв. см}$ знаменатель будет теперь не $\theta^2 = 458^2$, а $\frac{\theta^2}{100^2} = \left(\frac{\theta}{100}\right)^2 = 4,58^2$.

крупных пор и отдельных канальцев, оставшихся от сгнивших корешков в естественных суглинках.

п. 5. Полевые исследования.

Для песчаных грунтов теоретические формулы коэффициента фильтрации дают в общем удовлетворительные результаты; то же относится к иным грунтам искусственно уложенным. Для грунтов естественных с ненарушенной структурой, приходится их коэффициент фильтрации находить или из лабораторных опытов с образцами грунтов, вырезанных без нарушения их структуры (так наз. монолиты), или производить полевые исследования над водоотдачей грунтов.

Причиной несовпадения теоретических значений коэффициента фильтрации (по формулам) с результатами полевых исследований является неудовлетворительность и примитив самой структуры формул для k , а также несовершенство некоторых лабораторных анализов. В самом деле в этих формулах коэффициент фильтрации учитывается как функция механического состава грунта и, в лучшем случае, еще как функция общей порозности грунта. Большое разнообразие способов механического анализа грунтов указывает на продолжающиеся поиски лучшего и более совершенного способа; искусственность применяемых способов анализа не дает точного представления о составе грунтов; различные способы — дают и различные ответы о составе грунтов. Далее, общая порозность грунта далеко не характеризует его структуру; необходимо ввести раздельный учет влияния капиллярной и некапиллярной порозности, (в суглинках остатки сгнивших корешков, ходы червей и пр. крупные поры совершенно не учитываются существующими формулами). Можно представить себе два грунта одинакового механического состава и одинаковой общей порозности, но в одном грунте все поры одинаковы по размерам, а в другом немногочисленные поры — крупные (от ходов червей и т. д.).

Для первого грунта формулы дадут довольно близкую к действительности величину k ; для второго коэффициент фильтрации будет иной.

Кроме того, все формулы для k предполагают грунт однородным по всей его массе; в натуре грунты сравнительно одинакового состава могут залегать далеко не однородно.

Приведенные соображения указывают на необходимость полевых исследований водоотдачи грунтов, дающих действительный коэффициент фильтрации грунтов, т. е. непосредственный ответ производству. Далее систематизация и накопление результатов полевых исследований позволят внести в формулы для k поправки, значительно улучшающие их и делающие возможным применение этих формул, хотя бы в первом приближении, для естественных грунтов. Способы полевых исследований водоотдачи грунтов (главным образом индикаторные и путем откачек воды) описываются ниже.

§ 2. ПОЛЕВЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРОСТИ ГРУНТОВОЙ ВОДЫ ИНДИКАТОРАМИ.

п. I. Общее.

Определение скоростей движения воды в водопроницаемых (галечниковых, гравелистых, песчаных, супесчаных, суглинистых и др.) грунтах производится или в естественной обстановке подземного потока (опыты с красками, солями и др.), или в условиях искусственно создаваемых увеличенных напоров (откачки).

В первом случае имеют место ничтожные по абсолютной величине скорости, во втором — они резко возрастают.

Мерой или единицей сравнения водопропускной способности грунтов служит „коэффициент фильтрации“, представляющий собою скорость движения воды в грунте при единичном уклоне, называемом еще напорным градиентом. Последний равен отношению высоты водяного столба, создающего напор, к длине столба породы, через который идет просачивание.

Величина коэффициента фильтрации зависит от механического состава грунта, порозности его и температуры воды — этих трех главных факторов, учет которых является обязательным моментом при определении скоростей движения подземной воды.

Участки, где ставятся опытные наблюдения над скоростями движения подземной воды, редко представляют собой площади, сложенные совершенно однородным грунтом; обычно имеются частые изменения характера грунтов как в вертикальном, так и в горизонтальном направлениях. Особенно часто, указанные факты наблюдаются в пределах речных долин, где наличие различных по материалу линз, прослоев и т. п. в основной водонасыщенной породе есть обычное явление.

Поскольку исследования имеют задачей осветить строение и особенности часто большого района, а результаты наблюдений в отдельных пунктах идут для общей характеристики его, то опытный участок должен быть наиболее типичным в его пределах, т. е. слагаться возможно однородными, характерными для всего района, грунтами, обладать простотой рельефа и целинностью поверхностных площадей.

Подробная геологическая разведка и общее геологическое изучение района должны таким образом предшествовать постановке опытных работ.

Опытные исследования водопроводимости различных грунтов осуществляются в основном тремя приемами:

1. наблюдением над скоростями прохождения различных индикаторов (краски, соли и т. д.), вводимых в подземный поток между двумя пунктами (колодцы, шурфы, бур. скваж.),

2. измерением количеств притекающей к пункту откачки подземной воды в зависимости от степени понижения естественного уровня ее (в колодце, шурфе, бур. скваж.)

3. измерением количеств поглощаемой грунтом воды приливаемой, в скважины или шурфы.

Первый прием дает местную скорость в порах грунта, при откачке же охватывается значительная масса грунта и большая площадь, и получающиеся значения скоростей ближе стоят к истинным величинам

последних. Предпочтение следует таким образом отдавать способу откачек, сопровождая его другими приемами определения скоростей движения подземной воды, а основным условием наиболее полной характеристики водопроницаемости грунтов исследуемого района считать необходимость постановки повторных однотипных опытов в различных участках его.

Общая схема постановки наблюдений над скоростями движения подземного потока сводится к улавливанию вводимых в поток различного типа индикаторов в шурфах или буровых скважинах, располагаемых по направлению потока ниже пункта загрузки.

Каждая группа опытных пунктов — загрузочный и улавливающий — используется при однотипных индикаторах практически один раз (для одного наблюдения).

Ценность же опытов возрастает пропорционально количеству получаемых самостоятельных замеров в одинаковых условиях. Последнее достигается или комбинацией различных по эффекту индикаторов (краски—соли) в одной группе, или заложением нескольких групп загрузочных и наблюдательных пунктов, причем следует внимательно отмечать изменение характера водонасыщенных пород (особенно их пористости).

Для характеристики движения подземной воды на большом участке, заложение ряда опытных групп и повторность наблюдений в них обязательны.

п. 2. Определение направления движения подземной воды.

Существует несколько способов определения направления движения подземного потока. Наиболее простым приемом, не требующим иногда специальной закладки шурфов или буровых скважин, является использование имеющихся колодезев. Если в колодезь достаточно хорошо изолированный от поверхности (с крышкой, при глубине более 5 м) насыпать пробочных или легких древесных опилок, то через некоторое время они собьются к одной из стенок колодезя. Если затем у противоположной стенки опустить контрольный поплавочек и он будет принесен туда же, где скопились и опилки, то, зная отправную и конечную точку его пути, можно с достаточной точностью установить и ориентировать направление подземного потока.

Если для района, где предполагается постановка опытов по изучению движения подземной воды, имеется уже готовая карта изогипс, то в любом пункте нормальное к гидроизогипсам направление укажет, куда движется грунтовый поток. Не следует забывать, однако, что хорошая карта с гидроизогипсами учитывает конфигурацию поверхности подземного потока лишь на определенный момент и что направление подземного потока во времени может резко меняться. При благоприятных условиях карта гидроизогипс дает материал и для примерной величины уклона зеркала подземных вод в различных пунктах покрытого гидроизогипсами участка.

При отсутствии указанных возможностей разбивают свою сеть шурфов или, если грунтовые воды залегают на большой глубине (более 7—10 м, от поверхности), сеть буровых скважин (диаметром от 50 до 100 мм). Характер самого водонасыщенного грунта также влияет на выбор типа вскрытий. Основные три пункта — 1, 2, 3, — которыми определяется положение зеркала грунтовой воды, располагаются в вершинах

рис. 2) по возможности равностороннего треугольника, внутри которого целесообразно поместить потом и группу тех выработок (А), где будут производиться наблюдения над скоростями движения подземной воды. Стороны треугольника берут равными 50—100 м в зависимости от характера поверхности и общей величины участка работ. После того, как шурфы или скважины 1, 2, 3 вскроют подземную воду (на 0,5—1,00 м) и уровень ее в выработках успокоится, — нивелируют его. Рядом устьев скважин или в стенки шурфов забиваются достаточно крепкие колья (хорошо с гвоздем в них), на которые ставятся рейки и от которых затем замеряется расстояние до горизонта воды. Последние замеры производятся в возможно короткий промежуток времени (одновременно) с помощью рулетки (с протканым металлическими проволоками полотном) или тонкой проволоки, к концам которых подвешивается груз (300—400 г), или специальные водяные свистки, или колокольчики и др.; точность замера не менее 0,5 см.

При близком стоянии уровня грунтовой воды к поверхности (1—1,5 м) в шурфы опускаются обычные водомерные рейки (длиною в 2—2,5 м), задавливаются нижним концом в дно и скобой притягиваются к одной из стенок; нивелировочная рейка ставится прямо на голову водомерной рейки, вычитанием ее длины высчитывается отметка ее нулевого деления и затем каждый непосредственный отсчет по ней горизонта воды будет сразу давать его отметку.

Условную отметку самого низкого уровня воды в шурфе или скважине (на рис. 2—„2“) приравнивают обычно нулю и получают превышение уровней в двух других пунктах треугольника. После накладки и ориентировки (напр. по горному компасу) последнего на бумаге в определенном масштабе противоположная вершине со средней по величине отметкой сторона треугольника делится на пропорциональные отрезки. Точка на этой стороне, имеющая отметку вершины треугольника „3“, соединяется с последней прямой линией, которая и определит фронт подземного потока; перпендикуляр к ней в сторону вершины с малой отметкой („2“) дает направление подземного потока.

Уклон последнего получается, если взять в масштабе чертежа отрезок перпендикуляра, указывающего направление потока между одной или двумя гидроизогипсами (проведенными параллельно линии 3—4 через точки с одинаковыми отметками на сторонах треугольника) и разделить на длину его (в м) разность их отметок (тоже в м). На рис. 2 уклон равен $i = 0,2 : 33,3 = 0,006$.

Величину полученного таким образом уклона следует считать действующей и на самой опытной группе (А), если она расположена между теми гидроизогипсами, которые использованы в предыдущем подсчете.

Если опытная группа выносится в Б или В из контура треугольника 1—2—3, следует заложить дополнительные шурфы или скважины 5, 6, 7—как показано на рисунке и сравнить даваемые ими отметки уровня

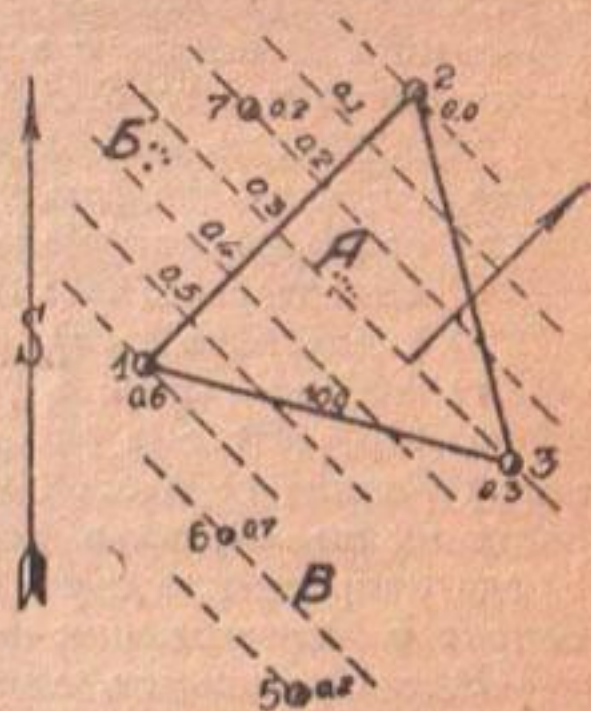


Рис. 2.

воды с протягивающимися от основного треугольника гидроизогипсами. В условиях, указанных на рис. 2, видно, что поток грунтовой воды движется совершенно прямолинейным фронтом в северо-восточном направлении (45°) с однообразным уклоном около 0,006.

Пункты 1, 2, 3 и др., послужившие при определении направления и уклона подземного потока не уничтожаются, а служат контролем за положением уровня подземной воды во все время производства опытных работ.

п. 3. Закладка наблюдательных пунктов.

Перед и во время операций по определению направления движения грунтовой воды исследователь знакомится с геологическим разрезом изучаемого участка, с характером водонасыщенных и покрывающих их сухих пород и с глубиной залегания зеркала подземной воды от дневной поверхности. Эти данные определяют основные вопросы при разбивке или закладке каждой опытной группы, которые сводятся к:

- а) расположению наблюдательных пунктов,
- б) определению числа их,
- в) расстояния между ними и
- г) выбору самого типа наблюдательной выработки.

а) Общая схема расположения наблюдательных пунктов при изучении движения грунтовой воды сводится, как было уже указано, к закладке их по наиболее вероятной линии движения подземного потока. Когда направление последнего тем или другим приемом установлено—вопрос о расположении пунктов тем самым является решенным.

Здесь условимся, лишь тот пункт (шурф, скважину или колодец), который располагается сверху по течению потока и куда потом вводятся различные вещества, называть загрузочным, а расположенные ниже его—улавливающими.

б) Число наблюдательных пунктов зависит от степени точности определения направления подземного течения и при тщательности и подробности (большое число и густота пунктов, вскрывших подз. воду) произведенных для этого работ сводится к одному загрузочному и одному улавливающему шурфам или скважинам. При отсутствии точных данных о направлении потока закладывается несколько улавливающих пунктов, обычно 2 или 3. Для контроля целесообразно заложить несколько улавливающих пунктов и при точно известном общем направлении потока, так как пути отдельных струй на малых участках нивелировкой, конечно, учтены быть не могут.

в) Расстояние между пунктами определяется степенью водопроницаемости пород, т. е., косвенно, тем временем, которое требуется на проведение одного опыта, силой индикатора и характером самих водонасыщенных пород (их однородностью, плавучестью или устойчивостью).

В породах легко водопроницаемых—крупнозернистых песках, гравие, галечниках—целесообразно закладывать улавливающие пункты от загрузочного на расстоянии от 3 до 5 иногда до 7 м; в породах медленно проводящих воду—мелкозернистых песках, супесях, суглинках, лессе—расстояние сокращают до 0,75—1,5 м при условии, что породы эти достаточно устойчивы, т. е. что между наблюдательными пунктами остается совершенно ненарушенным целик породы указанных (0,75—1,5 м)

размеров. В противном случае расстояние между пунктами увеличивается, причем замеряется деформация целика со стороны улавливающих и загрузочной выработок.

В группе самих улавливающих пунктов, которые располагаются обычно веером по отношению к загрузочному на указанных выше радиусах, расстоянии между ними берутся от 0,5 до 0,75 м в мелкозернистых породах и 1—1,5 м—в крупных песках и галечниках.

г) В качестве наблюдательных пунктов при опытах могут быть использованы колоды или шурфы и буровые скважины.

Выбор типа выработок определяется характером водопроницающих пород, их механическим составом, устойчивостью или плавучестью, глубиной залегания подземных вод от поверхности и, конечно, материальной и технической (крепежный лес, буровой инструмент, трубы, фильтры, специальные приборы и т. п.) обеспеченностью в каждом отдельном случае.

При больших глубинах залегания подземной воды от поверхности—более 10—15 м—приходится практически останавливаться на буровых скважинах. Последние проходятся диаметром в 100—150 мм, закрепляются обсадными трубами, а ниже горизонта воды опускается сетчатый фильтр в 1—2 м длиной. При производстве наблюдений в более глубоких слоях подземного потока обсадными трубами крепятся верхние горизонты его, а фильтр ставится на желаемой глубине. При проходке скважин должно быть обращено внимание на строгую вертикальность их, иначе нельзя будет точно учесть расстояния между ними в нижних частях.

При небольшой глубине залегания горизонта подземной воды, особенно в пределах 2—5 м, с одинаковым успехом можно использовать и шурфы и буровые скважины.

Шурфы делаются круглыми или с прямоугольным сечением; в рыхлых породах они крепятся (досчаной забивкой крепью, венцами, щитами из хвороста и др.), в породах устойчивых—стенки оставляются открытыми. Площадь поперечного сечения должна быть практически возможно малой (1—1,5 м²). При прямоугольном сечении обращенные к целику стенки шурфов должны быть ориентированы перпендикулярно к направлению потока для точности будущего замера расстояния между загрузочным и улавливающими пунктами. Преимущества шурфов перед скважинами заключаются в возможности более подробного ознакомления с водонасыщенными породами, удобством и большей точностью взятия образцов породы и воды для анализов, и меньшим влиянием вводимых масс индикаторов на изменение уровня воды.

Скважины благодаря меньшему объему воды в них более точно отмечают момент появления индикатора. Оборудование мелких скважин таково же, как и в описанном выше случае; при стойких породах, вследствие отсутствия деформаций целика, можно обсадку не производить.

При проходке шурфов и буровых скважин берутся образцы пород для производства анализа и определения величины порозности с возможной тщательностью.

и. 4. Типы и выбор индикаторов.

Для определения скорости движения подземной воды употребляют целый ряд различных веществ:

¹ 1) вещества, растворимые в воде, присутствие коих в последней определяется химическими или физическими способами: хлористый натрий, хлористый кальций, хлористый аммоний, азотнокислый калий, соли лития и железа;

2) вещества, растворимые в воде и сообщающие ей окраску: марганцовокислый калий, фуксин, конго, метиленовая синька, анилиновые краски (вредные), флюоресцеин;

3) вещества, взвешенные в воде и открываемые помощью микроскопа: крахмал, мука и др.;

4) культуры бактерий, присутствие которых определяется способами бактериологического анализа;

5) пахучие вещества, как керосин, хлороформ и др.

Главные требования, которые необходимо предъявлять при выборе веществ, служащих „индикаторами движения“, сводятся к следующему:

1) они должны входить в водоносный пласт и двигаться в нем с той же скоростью, с какой движется и вода;

2) они должны быть легко и быстро обнаруживаемы в образцах воды;

3) они не должны разлагаться или вообще приходить во взаимодействие с теми веществами, которые содержатся в воде или в водоносной породе;

4) они должны быть безвредны.

Наиболее часто употребляются индикаторы химической группы (1) и краски (2), но, как указано выше, целесообразно в каждой группе наблюдательных пунктов использовать различные вещества, так как повторность и множественность наблюдений в одинаковых условиях увеличивает ценность получаемых результатов.

Из среды химических индикаторов следует выбирать такое вещество, какого нет совсем или имеется минимальное количество в природной воде; тогда даже небольшие дозы его будут легко обнаруживаться чувствительным к нему реактивом.

Выбор красок определяется в значительной мере характером водоносных пород: большинство красок в глинистых породах резко изменяют интенсивность окраски или обесцвечиваются совершенно. Наиболее стойкой из них является флюоресцеин; он обесцвечивается только в присутствии большого количества органических кислот (в торфяных грунтах ¹). Флюоресцеин полнее других удовлетворяет и первое требование к индикаторам, т. е. он наиболее инертен, тогда как прочие краски иногда очень значительно опережают подземный поток и дают искажение скорости до 30%. Флюоресцеин представляет собою розовый порошок очень трудно растворяющийся в воде. Поэтому его сначала растворяют в любой щелочи (едкая щелочь, нашатырный спирт, мыльный раствор и др.) или в спирте и потом уже вливают в воду; в отраженном свете флюоресцеин имеет характерный зеленый цвет (2).

Дозировка наиболее употребительных индикаторов может быть представлена в следующем виде:

¹) Слихтер. Подземные воды. 1912 г.

²) Слихтер. Там же.

Название индикатора	Количество кг	Расстояние между наблюд. пунктами (м)
Хлористый натрий	10—15	5—7
Хлористый аммоний	5—10	3—5
Хлористый литий	3—5	2—5
Анилин. краски	0,010—0,015	2—5
Флюоресценци	0,2—0,3	2—5
"	0,001	2—5
"	0,002	5—7

п. 5. Производство опыта.

В результате выше описанных подготовительных работ опытный участок должен иметь, примерно, такой вид (рис. 3 и 2).

1. Наблюдательные шурфы—I загрузочный и II, III, IV—улавливающие, расположенные от I в северо-восточном направлении согласно определенного выше направления в расстоянии 3 м с промежутками в 0,75 м (рис. 3).

2. Контрольные шурфы 1, 2 и 3 (рис. 1), по которым ведется наблюдение за колебанием горизонта подземной воды (для определения уклона i).

Перед началом опыта должна уже быть организована служба наблюдения за уровнями и температурой подземной воды, установлен порядок и приемы производства самого опыта, и приготовлено необходимое оборудование.

1. Наблюдение за уровнями грунтовой воды в контрольных шурфах производится или по водомерным (занивеллированным) рейкам, опущенным в шурфы, или замеры производятся рулеткой с колоколом или свистком от (занивеллированного) колышка в устье шурфа; замеры производятся через 1—2 часа во все время опыта; данные замеров заносятся в журнал (табл., графа 5).

2. Температура воды замеряется в I и III шурфах через 1—2 часа во все время опыта; простые ваннные термометры с обернутыми ватой нижними концами (где ртутный шарик) могут быть постоянно опущены в воду и выниматься лишь для отсчета; последние заносятся в журнал (графа 7).

3. В зависимости от выбранного индикатора устанавливается порядок работ.

А. Краски:

а) до разворачивания пакетика с краской берется из шурфа небольшая (100—150 куб. см) порция воды в колбу или пробирку, закупоривается и убирается от опытных шурфов;

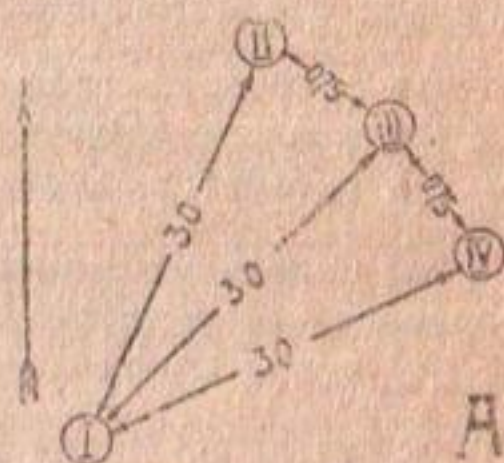


Рис. 3.

б) в возможно малом количестве воды готовится концентрированный раствор краски и вводится в загрузочный шурф и одним—двумя движениями мешалки смешивается с водой шурфа; в журнале отмечается момент загрузки (2); хорошо загрузочный шурф (особенно при неглубоком залегании горизонта воды) закрыть;

в) отбор проб из улавливающих шурфов производится маленькими (20 см³) металлическими (с грузиком под дном) стаканчиками, опускаемыми или на шпагате или на толстой проволоке (при близости воды от поверхности); перед взятием пробы вода в шурфе или скважине перемешивается. Желательно в каждом шурфе (I—II, III, IV) иметь свой стаканчик. Вода из стаканчика переносится в пробирку и в одинаковых условиях освещения и белом фоне сравнивается со взятым до опыта образцом воды; данные сравнения заносятся в журнал (3);

г) пробы воды берутся после загрузки через промежутки в 4—5 часов, и за 7—10 часов до конца опыта интервалы уменьшаются до 30 и 15 минут; вероятный момент прихода краски рассчитывается из следующих данных: скорость движения воды при обычных уклонах в 0,001—0,007

в грубозернистых песках и галечниках . . .	1,5—2—3 м/сут.
в мелкозернистых песках и супесях	0,5—1 м/сут.
в суглинках, лессе	0,1—0,3 м/сут.

д) отдельные моменты прихода краски соответственно интенсивности окрашивания отмечаются условно: следы, слабо, сильно (3).

е) конец опыта отмечается в журнале полной датой и чертой (2)

Б. Соли:

а) до введения соли в загрузочный шурф титруют пробу воды и данные заносят в журнал в графе начала загрузки (2);

б) загрузку солей производят или в сухом состоянии (для легко растворимых солей, как хлористый аммоний) в мешках из металлической сетки или в виде концентрированного раствора; момент введения соли заносят в журнал.

Если объем вводимой массы велик, то отмечают высоту подъема уровня воды в шурфе и момент восстановления уровня. Можно избежать подъема уровня, если перед самым вводом в шурф раствора соли (напр. 1 ведро) такой же объем воды изъять из него;

в) операции взятия проб, интервалы между ними — те же, что и в опыте с красками;

г) определение количества соли в воде производится непосредственно у шурфов; титрованный раствор реактива, бюретка, мензурки и пробирки с колбочками должны быть приготовлены заблаговременно. Данные анализа даются обычно в миллиграммах на литр;

д) наблюдения заканчиваются вслед за переломом концентрации в сторону уменьшения ее после максимума; в журнале — полная дата и черта.

К журналу опытов в каждой группе прилагается план (рис. 1 и 2) участка и разрезы через загрузочный и улавливающие пункты с указанием водоносной породы, горизонта воды (с датой на нем) и оборудования наблюдательных пунктов (крепь, глубина воды и т. п.). Особенно тщательно в разрезе должен быть изображен целик породы, через

ЖУРНАЛ

Таблица 6

Опытов по определению скоростей движения подземной воды

Местность группа А Дата

участок Наблюдатель

№ опыта	индикатор	2 Время наблюдения	3 Опытные пункты			4 Продолж. опыта, сутки	5 Уровни в контролн. пунктах			6 Уклон	7 Температура воды		8 Добавления
			II	III	IV		1	2	3		I	III	
Опыт № 1 Флюорес- ценция		Начало за- грузки:											1. Водонос. по- рода - крупно- зерн. песок. 2. Пористость его — 40% Способ ее оп- ределения — прибор Ко- пейского 3. Контр. пункт. 1—2=100 мм. 4. Опыт. пункт. 1—III=3 м. 5. Нарушений целика нет. № 1. $V=3 \times$ $\times 0,40=1,2$ м/с. $K=\frac{1,2}{0,006}$ = 200 м/сек. № 2. $V=3,2 \times$ $\times 0,4=1,28$ м/с. $K=\frac{1,28}{0,006}$ = 213 м/сек.
		15/V—30.18—30	Нет	Нет	Нет	3. 21	2. 61	2. 91	15	15			
		19—30	—	—	—	—	—	—	—	—			
		23. 30	—	—	—	3. 20	2. 60	2. 90	14,5	15			
		16/V—31.17. 30	—	—	—	3. 21	2. 61	2. 91	15	15	—		
		18. 00	—	следы	—	—	—	—	15	15	—		
		18. 15	—	слабо	—	—	—	—	—	—	—		
		18/V—31.18. 50	—	сильно	следы	—	—	—	—	—	—		
n=3:24 ₂ =3 м/сут.													
Опыт № 2 Хлористый натрий		Начало за- грузки:											№ 1. $V=3 \times$ $\times 0,40=1,2$ м/с. $K=\frac{1,2}{0,006}$ = 200 м/сек. № 2. $V=3,2 \times$ $\times 0,4=1,28$ м/с. $K=\frac{1,28}{0,006}$ = 213 м/сек.
		16/V—31.20. 00	56	58	54	3. 20	2. 60	2. 90	15	15			
		24. 00	—	—	—	3. 22	2. 62	2. 92	14,5	15			
		17/V—31.17. 00	57	59	55	3. 21	2. 61	2. 91	15,5	15			
		17. 30	57	66	56	—	—	—	—	—	—		
		18. 00	58	80	60	—	—	—	—	—	—		
		18. 30	59	106	80	—	—	—	—	—	—		
		19. 00	58	90	70	—	—	—	—	—	—		
		17/V—31.20. 00	57	65	62	—	—	—	—	—	—		
n=3:22 ч. 30 м.=3,2 м/сут.													
Наблюдатель													

 $n=3:24_2=3$ м/сут. $n=3:22$ ч. 30 м.=3,2 м/сут.

Наблюдатель

который проходила вода (деформации его с верхней и нижней сторон, размер).

Большим недостатком при указанных способах определения скоростей движения подземной воды является необходимость отбора проб и введения иногда большого объема индикатора. Эти операции нарушают нормальный уклон подземного потока и искажают величины скоростей его движения.

Слихтером предложен способ определения скорости подземного потока, при котором это неудобство почти устранено и необычайно облегчено производство самих наблюдений. Принцип этого способа основывается на увеличении электропроводности воды, когда в нее вводится какая-либо соль; обычно употребляется хлористый аммоний. Последний, в сухом виде, в количестве 1—2—3 кг, в металлическом мешке продолговатой формы, (поперечные размеры его определяются диаметром скважины), вводится в загрузочную скважину в один или несколько приемов

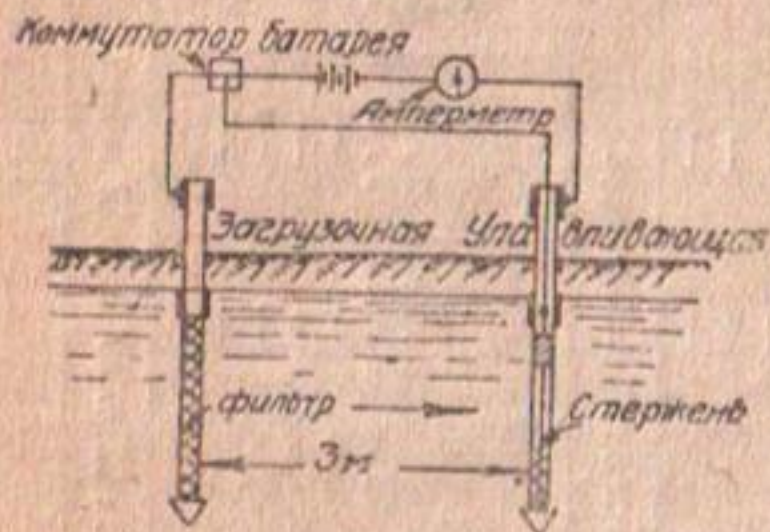


Рис. 4.

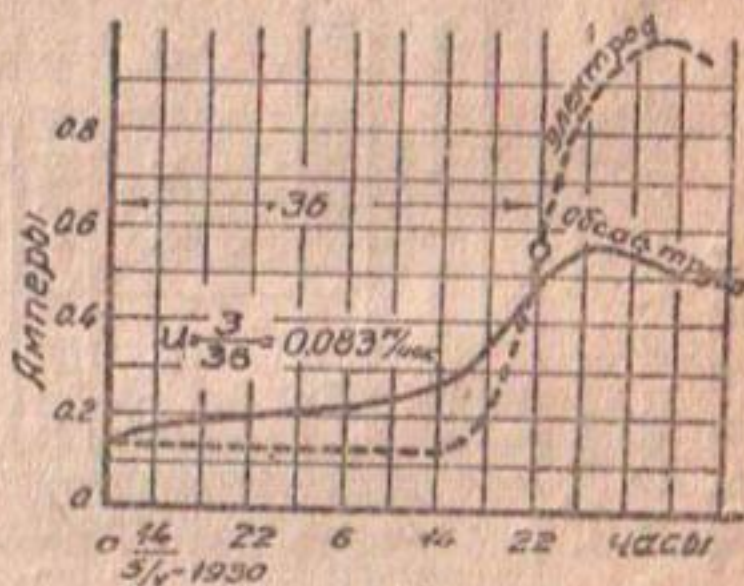


Рис. 5.

и тогда каждый раз моменты погружения отмечаются в журнале. Оборудование загрузочной и улавливающей скважин состоит из обычных обсадных труб диаметром 3—5 см, переходящих ниже горизонта воды в дырчатые фильтры, покрытые снаружи мелкой (0,5—1 мм) сеткой. Длина фильтров определяется той глубиной, до которой желают произвести исследования водопроницаемости грунта. Внутри улавливающих скважин опускаются медные или латунные (д. 0,3—0,5 см) стержни, изолированные пробками от обсадных труб. Расположение загрузочного и наблюдательных пунктов и расстояния между ними таковы же, как и при описанных выше красочных или других приемах; за счет малых диаметров скважин и малого нарушения во время проходки водопроницаемых пород расстояния в стойких породах можно иногда несколько уменьшить, восполнив указанное сближение пунктов лишним опытом.

Электрическая цепь составляется так (рис. 4):

1) обсадная труба улавливающей скважины — амперметр — батарея элементов — стержень; движение подземной воды обнаружится резким повышением силы тока в то время, когда электролит достигнет улавливающей скважины (пунктир, рис. 5).

2) обсадная труба улавливающей скважины — амперметр — батарея элементов — обсадная труба загрузочной скважины; при такой цепи по-

степенное движение воды от одной скважины к другой можно видеть по движению стрелки амперметра, а окончательный приход раствора электролита к нижней скважине отмечается по резкому повышению силы тока (сплошная кривая, рис. 5);

При наличии обеих кривых процесс прохождения раствора становится наиболее наглядным, так что указанные переключения обязательны. Аналогичные операции выполняются при наличии нескольких улавливающих пунктов с каждой парой, напр.: 1—II, 1—III, и 1—IV.

Амперметры, которыми пользуются при опытах, или обычные, требующие постоянного присутствия наблюдателя для замыкания цепи, или самопишущие, т. е. соединенные с коммутаторными часами, дающими контакт в зависимости от желания исследователя.

При пользовании простым амперметром (с чувствительностью на 5—10 ампер) берут батарейки сухих элементов, а механизация работ сводится к устройству в удобном месте доски переключений, к которой подходят изолированные провода от обсадных труб и стержней улавливающих пунктов (можно одновременно наблюдать и над несколькими опытными группами).

Данные отсчетов заносятся в журнал и на основании этих записей вычерчиваются кривые прохождения электролита. Моментом прихода электролита берут среднюю точку на участке кривой от места под'ема до наибольшей высоты ее (см. рис. 5).

При пользовании железными или латунными стержнями и фильтрами приходится сталкиваться с явлениями усиленного химического воздействия воды, выражающегося обычно в окислении этих металлических частей. Трубы и стержни после каждого опыта требуют очистки, а сетка, обтягивающая фильтр, разрушается совершенно. Металлические электроды можно заменить угольными, соединив их с изолированными проводами варом или парафином в очень компактную шашку и закладывать ее затем непосредственно в грунт.

Описанный прием Сликтера дает возможность проводить опыт, не нарушая естественных уклонов в грунтовой воде, облегчает производство самих замеров и упрощает исследования скоростей в различных горизонтах водопроводящего пласта.

п. 6. Обработка опытов.

Первая обработка данных опытов производится в поле: вычисляется скорость движения воды в порах грунта

$$U = \frac{l}{T} \dots \dots \dots (19),$$

где l — расстояние между загрузочным и улавливающим пунктом, T — время прохождения индикатором указанного пути.

Значение этой величины позволит немедленно упростить наблюдения в аналогичных грунтах, т. е. вести частый отбор проб на более коротком промежутке времени.

Если представляется возможность определить в поле порозность водоносной породы, то там же производятся и окончательные подсчеты, или же они производятся после необходимых исследований в лабораторной обстановке.

Скорость движения по всему сечению водоносного пласта получается по формуле:

$$V = u \cdot p = \frac{l}{T} p \quad , \dots \dots \dots (20)$$

где p есть порозность водоносной породы, и коэффициент фильтрации

$$k = \frac{V}{i} \quad , \dots \dots \dots (21)$$

где i уклон подземного потока, получаемый по наблюдениям над горизонтами в контрольных пунктах (1-2). Он представляет отношение

$$i = \frac{h}{l} \quad , \dots \dots \dots (22)$$

где h разность отметок горизонта воды в двух пунктах, расположенных по направлению движения подземного потока, на расстоянии l .

В указанные подсчеты вводятся поправки, если уклоны на протяжении опыта изменялись и поправки на влияние температуры, если она резко колебалась во время опыта, или если полученный коэффициент фильтрации желают сравнить с другим, определенным в иной температурной обстановке.

Получаемые описанными приемами скорости движения подземной воды носят узко местный характер и лишь с рядом оговорок могут служить для характеристики водопроводимости грунтов на значительных по площади участках.

Масса грунта, которая оказывает влияние на получаемые во время опыта скорости, по сравнению с исследуемыми площадями обычно ничтожна и измеряется единицами метров.

Конкретная величина, получаемая во время опытов, — скорость движения воды в порах грунта — то же носит в большинстве случаев случайный характер и обусловлена наличием больших пор, торных ходов, по которым и приносятся первые порции красящих или химических веществ, которые не позволяют отмечать прихода массы воды, движущейся по всему сечению между наблюдательными пунктами.

Указанное подтверждается тем, что после прихода первых порций краски или солей масса их долго не уменьшается и это возможно объяснить таким образом, что большие ходы, пронесшие попавшую в них краску, затем начинают высасывать ее из мелкопористых участков, где продвижение ее совершается гораздо более медленными темпами.

Наконец, активность самих веществ, играющих роль „индикаторов движения“, явления диффузии, делают получаемые величины еще более неопределенными.

Поэтому, отдельные отрывочные определения скоростей подземного потока указанными приемами будут иметь только местное значение и лишь множественные однотипные опыты с повторностью и использованием различных типов индикаторов дают надежные результаты для характеристики и больших участков.

§ 3. ПОЛЕВЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФИЦИЕНТА ФИЛЬТРАЦИИ ОТКАЧКОЙ.

п. 1. Цели откачки из шурфа.

Откачке из шурфа ставятся две цели — первая главная — получение характеристики водопрпускной способности исследуемого естественного грунта (выявление его снивелированного [среднего коэффициента фильтрации]) и вторая, пока второстепенная — получение материалов по неустановившемуся движению грунтовых вод. К настоящему времени можно констатировать наличие более или менее точных приемов учета установившегося движения грунтовых вод; для условий же неустановившегося движения не только не предложено каких-либо способов расчета его, но даже не было сделано первичных попыток к изучению явления, не было сделано накопления сырого исследовательского материала, на основании которого можно было бы притти хотя бы к эмпирическим зависимостям.

В действительности мы имеем движение грунтовых вод в форме преимущественно неустановившегося и только, как исключение — в форме установившегося движения. И та и другая форма его требует знания водопрпускной способности грунта, поэтому изучение коэффициента фильтрации поставлено как первая, ближайшая цель полевых работ с грунтовыми водами; вторая цель — накопление материала по неустановившемуся движению — сведется к фиксации всех явлений, сопутствующих процессу установления движения. Эти две цели мы и ставим откачке из шурфов и скважин; ввиду особенностей откачек для различных условий закладки скважин и шурфов, ниже даются описания наблюдений и обработки их результатов для совершенных (полных) колодцев (шурфовых, буровых), неполных колодцев, подливных и др.

Закладке шурфов (или скважин) для откачки должно предшествовать описанное выше геологическое обследование участка, имеющее целью выяснить залегание грунтов и направление в них потока грунтовых вод. Участок для откачки следует выбирать наиболее характерный по своим свойствам для всего обследованного района; в случаях резких различий в свойствах грунтов района следует заложить несколько опытных участков, освещающих свойства отдельных частей района. В центре выбранного под опыт участка, с более или менее правильными гидроизогипсами, закладывается центральный шурф, из которого должна производиться откачка; по двум перпендикулярным створам, проходящим через центральный шурф — закладываются наблюдательные шурфы, заглубленные в грунтовый поток настолько, чтобы обеспечить наблюдение по ним за уровнем грунтовой воды во время откачки. Расстояния между ними следует постепенно увеличивать, начиная от центрального шурфа, причем первый шурф, ближайший к центральному, следует закладывать по возможности ближе к нему, не нарушая целика (с целью проверки принципа Козени). Полезно между четырьмя створами наблюдательных шурфов закладывать еще по одному — двум дополнительным (а также использовать те шурфы, которые были заложены при геологической разведке) — для более точного построения в плане воронки понижения (рис. 6).

Так как трудно наперед предвидеть радиус влияния колодца, то часто при откачке приходится закладывать еще шурфы, по концам створов, по мере продвижения радиуса влияния колодца. Примерно, можно считать

необходимым заложить по 4—6 шурфов в каждом створе на расстоянии от центрального до 75—150 м — в зависимости от намеченного понижения уровня в центральном шурфе и свойств грунта — чем больше понижение и чем более водопроницаем грунт — тем дальше закладываются шурфы.

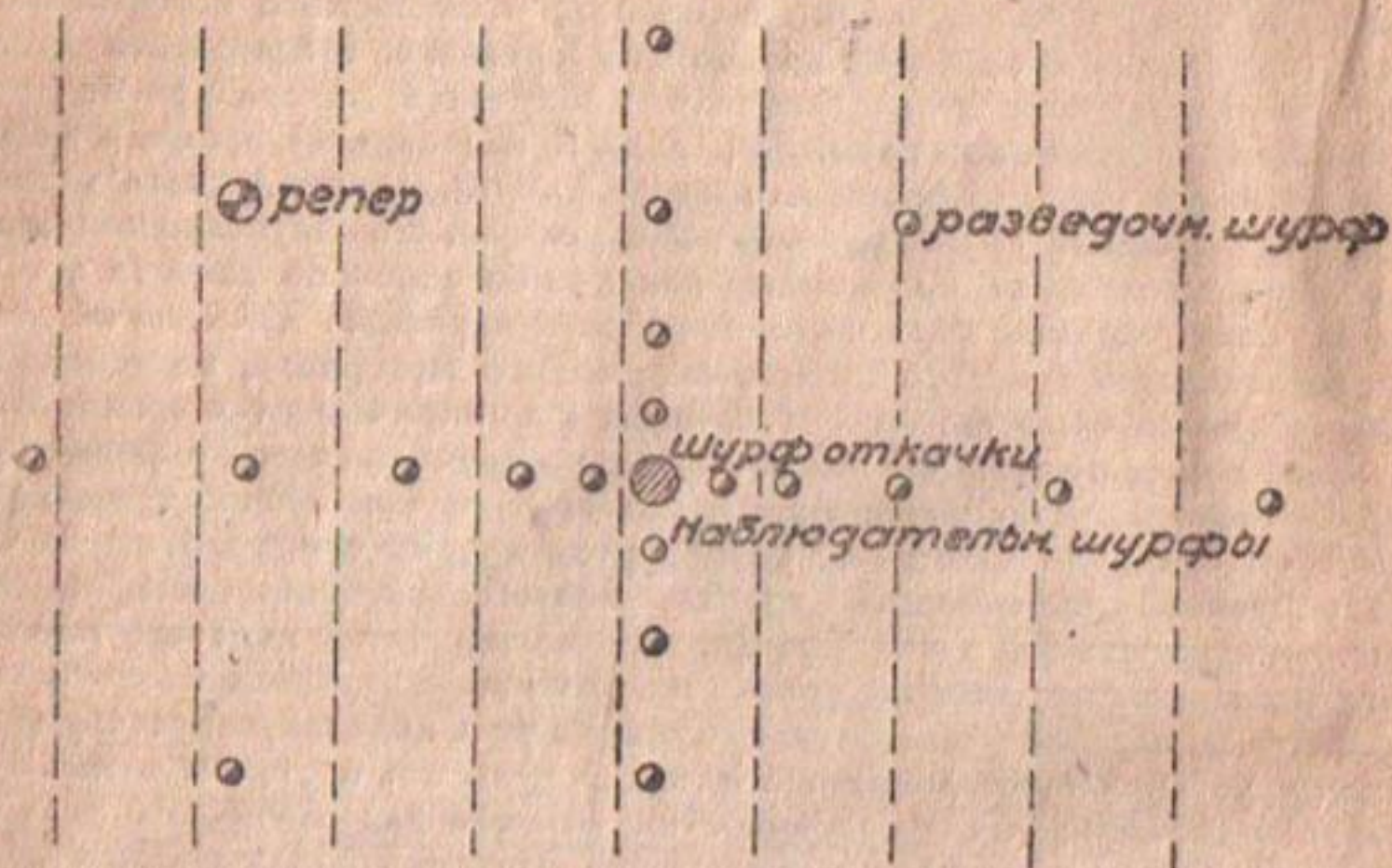


Рис. 6.

Откачиваемую воду необходимо возможно далее отводить от места откачки желобами или трубами в арык или естественное понижение местности; полезно отводной арык в зоне влияния колодца покрывать глинобетоном.

п. 2. Откачка из полного колодца.

Полным колодцем мы называем такой колодец, который, проходя через всю толщу водопроницаемого грунта, дном своим доходит до подстилающего водонепроницаемого грунта и который питается через проницаемые для воды стенки.

Очевидно под такое определение подходят буровые скважины, снабженные фильтром-стрелером на длине от дна колодца до уровня грунтовых вод у стенок скважины, и шурфы неукрепленные и укрепленные, но с проницаемым для воды креплением. Место закладки центрального шурфа (скважины), расположение и количество наблюдательных шурфов (или скважин), отвод выкачиваемой воды — указаны были выше; здесь будет отмечена лишь самая откачка и сопутствующие ее наблюдения. Перед приступом к откачке необходимо убедиться — в исправном действии всего оборудования опыта (мотора, насоса, водомерных реек, отводного лотка, водомеров и пр.) — в достаточном запасе горючего и смазочного, — в точном знании своих обязанностей исполнителей.

Отметив в журнале откачки время и естественные горизонты во всех шурфах, начинают откачку, включив в действие насос; регулируя

работу насоса, следует добиться относительного постоянства пониженного уровня воды в шурфе при постоянном дебете.

За этот период установления режима необходимо произвести и записать следующие наблюдения: периодическое изменение расхода откачки (дебета), периодическое понижение уровня во всех скважинах.

Частота периодических наблюдений зависит главным образом от количества полевых работников и от их подготовки к наблюдениям; во всяком случае наблюдения следует вести не реже 2-х раз в час.

Все сопутствующие откачку явления отмечаются в журнале и по возможности количественно оцениваются; сюда относятся, например, вынос в центральный (и другие) шурф мелких фракций грунта; вынос их насосом; измерение их дебета (так называемый твердый расход) и механического состава; состояние устойчивости стенок и крепления шурфа; температуры воды в центральном шурфе.

Для характеристики неустановившегося движения интересно отмечать распространение радиуса влияния колодца; поэтому когда в удаленных смотровых шурфах по мере откачки уровень будет значительно снижаться—следует заложить еще хотя два неглубоких шурфа; удаление их от центрального наметить, сообразуясь с результатами понижений в имеющихся шурфах. При достаточности персонала следует заложить четыре таких шурфа—по концам створов.

Постоянство пониженного уровня в центральном шурфе и дебета откачки, наблюдаемые в течение 1—2 часов (т. е. примерно при пятикратных записях наблюдений) укажут на конец работы по первому понижению уровня грунтовых вод.

Дальнейшее продолжение откачки может идти по двум направлениям; первое—при возможности (по штату и оборудованности опыта) постановки сменной работы—после фиксации первого понижения уровня в центральном шурфе, не делая перерыва в работе насоса усиливают дебет откачки и подобно описанному ведут работу по установлению второго пониженного горизонта в центральном шурфе, при том же порядке ведения записей наблюдений. Аналогичным образом работа продолжается от второго к третьему понижению и т. д. Фиксировав записями наблюдений последнее понижение уровня, прекращают откачку; далее периодические наблюдения за восстановлением уровней во всех шурфах ведут до тех пор, пока они не достигнут первоначальных, непониженных (или отличающихся от них на 1—2 см), уровней.

Второе направление работ—при слабом штате и оборудовании, работу ведут с перерывами; поэтому по фиксации первого понижения уровня центрального шурфа прекращают откачку и ведут периодические наблюдения за восстановлением уровня во всех шурфах. В следующую серию работ откачку начинают с больших расходов, чем для первой серии; в остальном без перемен.

Остановимся несколько подробнее на самом производстве наблюдений и оборудованности работ.

Наблюдения за уровнями в шурфах.

В неглубоких шурфах проще всего наблюдения следует вести таким образом: в дно шурфа прочно забивается кол, к которому (или к обделке шурфа) прикрепляется рейка; отсчеты уровня читаются по рейке,

нуль которой определяется нивелировкой до начала откачки и вторично поверяется после окончания работ. В случае сомнения в ненарушении положения рейки во время работ (от обвала стенок шурфа или от других причин)—нуль ее поверяется и во время работ. Полезно, если позволяет спокойный рельеф местности, нули реек в шурфах сделать одинаковыми, что в дальнейшем упрощает увязку горизонтов воды при обработке результатов опыта; если же рельеф местности не позволяет этого сделать (местность наклонна), то все же желательно, чтобы нули реек отличались между собой на простые числа (десятки сантиметров). Можно не ставить реек в шурфах (из-за большого числа потребных для этого реек и кольев); тогда горизонты в них замеряются или рулеткой или переносной рейкой от закрепленной и занивелированной точки каждого шурфа.

Постоянство положения закрепленных точек поверяется нивелированием не менее двух раз—до и после откачки.

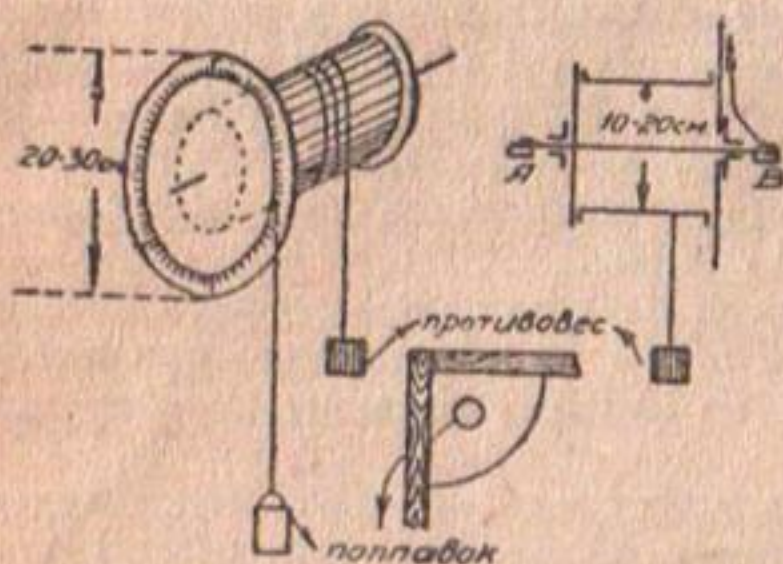


Рис. 7.

Точность первого приема замера уровня не меньше 0,5 см, второго не выше 0,5 см.

В центральном шурфе второй прием—вследствие колебаний уровня от откачки, стеснения от насосной установки—менее пригоден, чем первый; но и этот прием желательно здесь заменить таким, при котором наблюдения за постоянством уровня были бы наиболее просты.

Для этого полезно установить примитивный плавучий указатель уровней, схема которого приведена ниже на рисунке. Плавучий указатель

собирается из следующих частей: из двух кусков дерева делаются два подшипника с гладко вырезанными гнездами для оси барабана; барабан делается или из жести или из дерева с ребрами, сквозь него пропускается ось (лучше железная, но можно ее сделать и деревянной); ось лучше соединить с барабаном наглухо. На барабан навивается 2—3 оборота тонкого голого провода (диаметром 0,1—0,2 мм), к одному концу которого прикрепляется поплавок (из куска дерева в форме усеченного конуса с широким основанием кверху или маленькое ведерко из жести, из-под консервов или кофе и т. п., на дно которого для устойчивой плавучести насыпается немного песка), а к другому концу—груз, уравновешивающий плавающий поплавок.

Поплавок опускается в воду шурфа, причем для ослабления влияния волнения на поплавок, его огораживают щитком (из жести или фанеры), прикрепляемым к углу крепления шурфа. Подшипники барабана укрепляются наверху крепления шурфа, в одном из его углов.

К одному из торцов барабана приделывается диск (из жести, фанеры, тонкой доски, картона) лицом в сторону наблюдателя (или моториста у насоса); диаметр диска делается больше диаметра барабана в $1\frac{1}{2}$ —2 раза; на диск приклеивается (или прикнопливается) бумажный круг с нанесенными делениями, число которых равно числу сантиметров

окружности барабана. К одному из подшипников прикрепляется изогнутая проволока (или деревянный прут), близко подходящая к циферблату диска, по которой и записывают покрываемый ею отсчет диска; точность такого отсчета может быть получена не менее $\frac{1}{4}$ см. Для записи числа полных оборотов диска необходимо следить за его вращением, или следует сделать на проводе, подвешивающем поплавков, мерные метки (небольшие цветные полоски), по числу которых (или их номеру) можно узнать число оборотов барабана. Барабан необходимо защищать от ветра.

При откачке из скважин устройство такого примитивного плавучего указателя значительно облегчает наблюдение за уровнем воды в них.

При наблюдении за горизонтами в смотровых скважинах полезно пользоваться гидравлическим свистком; измеренная длина проволоки (от

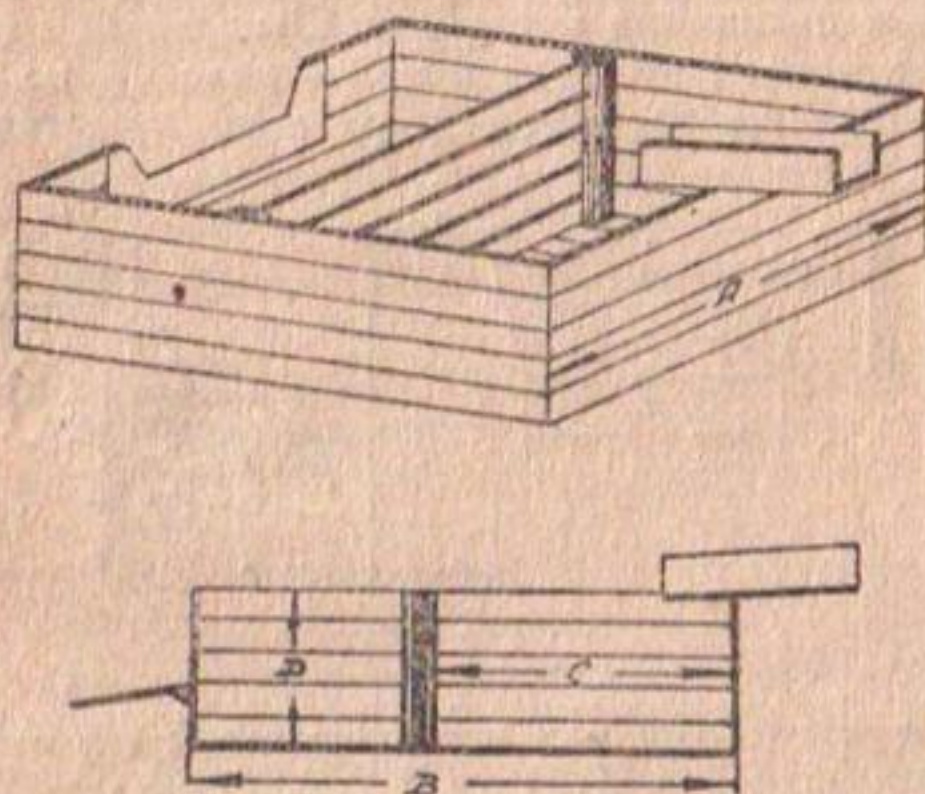


Рис. 8.

закрепленной и занивелированной верхней точки скважины), на которой свисток начинает звучать, укажет глубину стояния горизонта воды в скважине. Точность такого измерения не выше 0,5 см.

Измерение расхода откачки. При откачке из буровых скважин небольшого диаметра откачка производится желонкой; для больших дебётов (следовательно, для больших понижений уровня) применяют ручные насосы и нередко центробежные насосы с двигателем (в крупно-песчаных и галечниковых грунтах). При откачке из шурфов применяют ведра (небольшие шурфы в суглинках); при песчаных грунтах—ручные насосы (удобны так наз. лягушки); при песчано-гравелистых—центробежные 2—4" и при гравелисто-галечниковых—центробежные 4—6" с трактором. При значительном загрязнении последних грунтов истыми и глинистыми частицами, отдача шурфов сильно сокращается, что должно быть учтено при выборе насосного оборудования.

Регулировку расхода откачки производят глубиной и частотой размахов рукоятки ручного насоса; для насоса соединенного с двигателем регулировка расхода производится задвижкой на подающей трубе и изменением количества и состава горючей смеси двигателя.

При небольших дебетах колодца, когда откачка производится ведрами и желонками, расход воды по времени измеряется числом ведер (или желонки) откаченной воды; объем ведер или желонки предварительно определяется для полного и частичного их наполнения водой в крайнем случае—путем геометрического измерения их. Лучшее определение дебета производится путем сливания откачиваемой воды в особые мерные баки, снабженные шкалой, где для каждого отсчета по шкале должна быть известна кубатура воды в баке.

При работе насосами малой мощности дебет определяется или сливанием воды в мерные баки (по предыдущему), или путем пропуска воды через свободный водослив с острой кромкой. В последнем случае необходимо откачиваемую воду направлять от подающей трубы насоса по желобу в успокоитель, к стенке которого прикрепляется водослив (см. рис. 8). Желоб, отводящий воду переливающуюся через водослив, следует делать возможно длиннее (15 м, и более) и направлять им воду в естественное понижение местности. Отводящий желоб так присоединяется к успокоителю, что вода в нем стояла бы не выше кромки водослива. Для измерения расхода водосливы выбирают простые формы

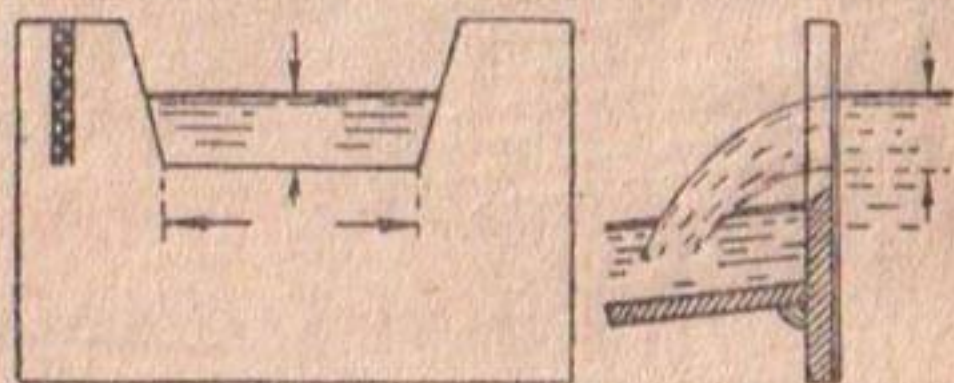


Рис. 9. 1)

трапецевидные, треугольные или прямоугольные; глубина воды H , переливающейся через водослив Чиполетти (трапецевидный), не должна быть больше $\frac{1}{3}$ ширины его ребра B и не меньше $0,1 B$ —при иных H отсчеты по водосливу теряют свою точность. Для выбора размера водослива Чиполетти можно пользоваться следующей таблицей:

Таблица 7

Ш и р и н а в с м	Расход Qл/сек.	С а н т и м е т р ы			
		A	B	C	D
		Р а з м. я щ и к а			
20	5				
25	10	60	100	50	50
30	15	70	110	50	50
35	25	80	150	60	60
40	40	90	200	70	70
50	65	100	250	80	80

При дебете меньшем 5 л/сек. лучше пользоваться треугольным водосливом; для водослива, угол выреза которого равен прямому углу при

1) На чертеже № 9 пропущены буквенные обозначения B и H .

мере высоты переливания H в см, расход Q в л/сек. определяется следующей формулой:

$$Q = 0,014 H^2 \sqrt{H} \dots \dots \dots (23)$$

или следующей таблицей.

Таблица 8.

H см	3	4	5	6	7	8	9	10
Q л/сек.	0,22	0,45	0,79	1,23	1,82	2,53	3,40	4,43

Замеры расхода воды через водослив производятся по шкале, прикрепленной сбоку него; записав отчет, можно по таблицам найти соответствующий ему расход ¹⁾.

Для того, чтобы сливающаяся в успокоительный ящик вода не волновалась и не искажала отсчеты по шкале водослива, в ящике делается сквозная деревянная перегородка, собираемая из досок, закладываемых в пазы; для прохода воды сквозь такую поперечную стенку в ней или просверливаются отверстия или доски ее кладутся с зазорами (между ними вставляются обрезки).

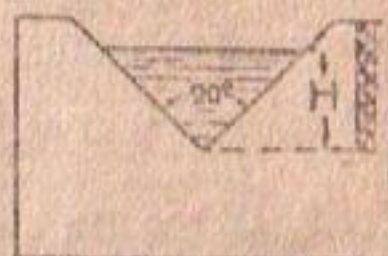


Рис. 10.

Примерные размеры успокоительного ящика приведены выше в таблице в зависимости от расхода откачки. Ящик и колоба должны быть хорошо проконопачены.

Отлагающиеся в успокоителе песчаные выносы должны быть замерены по объему с определением их механического состава, для чего должны быть использованы всякие случайные перерывы в откачке.

Обработка результатов опыта.

Для более точного определения фильтрационных свойств грунтов необходимо произвести не менее 4 откачек из шурфа — две для понижения уровня S , равного около $1/3$ и $2/3$ глубины колодца (считая ее от дна его до непониженного уровня грунтовых вод), — в колодцах средней глубины (с дном 1—2 м ниже горизонта грунтовых вод) и две откачки для более глубокого, в зависимости от трудности проходки шурфа, при понижениях около $1/3$ и $2/3$ его глубины. По результатам откачки из полного колодца коэффициент фильтрации находится из формулы Дюпюи.

$$K = \frac{Q \log \frac{R}{r}}{1,36 (H^2 - h^2)} \dots \dots \dots (24)$$

где Q — расход воды (дебет) при откачке из колодца,

¹⁾ Таблицы расходов воды через водосливы изданы ОИИВХ.

H — глубина водоносного слоя грунта, считая от естественного уровня грунтовых вод до дна колодца (т. е. до подстилающего водонепроницаемого слоя грунта),

h — глубина воды в колодце,

r — радиус колодца,

R — радиус влияния колодца ¹⁾

Если Q выражать в л/сек, H и h в м, то K получается в мм/сек

В тех случаях когда шурфы имеют не круговую форму, а квадратную (обычная для практики), или прямоугольную, радиус колодца r в

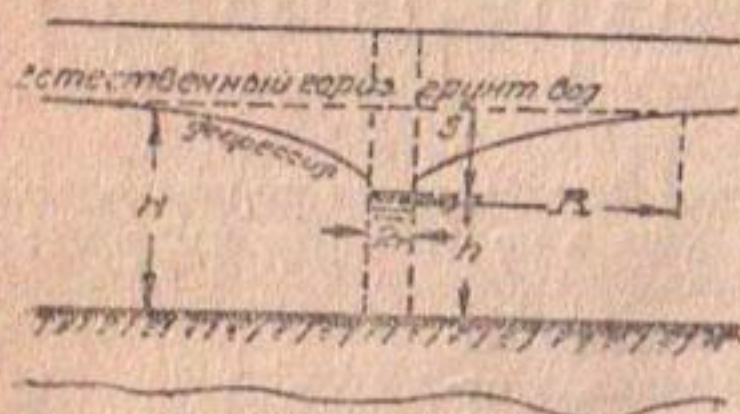


Рис. 11.

числяется, как средняя из условий равенства площади поперечного сечения шурфа и периметра его площади, периметра его круга; так для квадратного шурфа с стороной a радиус для него r принимается равным $r = 0,6 a$

Пример 1-й применения формулы для коэффициента фильтрации. В результате откачки получены были указанные в таблице, понижения уровня грунтовых вод в наблюдательных шурфах (№ № 1—6) и центр

ральном (№ 0); в таблице приведены дебиты, соответствующие различным понижениям уровня и даты наблюдений. Шурф откачки—прямоугольный 2×2 м, достигающий до подстилающего непроницаемого слоя, залегающего на 6,5 м от поверхности земли; непониженный уровень грунтовых вод стоял на 1,5 м от поверхности земли.

Таблица 9.

Дата 1931 г.	Часы суток	Рас- ход л/сек	Понижение уровня в см в шурфах						
			№ 0	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6
			Расстояние в м между шурфами						
			3	7	10	15	20	30	
5/V	8	0	0	0	0	0	0	0	0
	8,5	1,1	25	18	9	2	0	0	—
	9,0	1,4	50	37	26	15	2	0	—
	9,5	1,5	75	64	45	24	10	0	—
	10	1,6	100	83	64	42	20	2,0	—
	10,5	1,6	100	84	64	42	20	2,5	—
	11	1,6	100	84	64	43	20	2,5	—
5/V	11,5	1,6	100	85	65	43	21	3,0	—
5 V	18,5	2,8	200	170	130	90	56	22	0
6/V	14	3,4	300	238	201	152	94	43	1

¹⁾ Уточнение формулы для K с учетом непостоянства радиуса влияния R смотреть в "Движении грунтовых вод под гидротехническими сооружениями" Е. Замарина.

В таблице 9 приведены данные по постепенному понижению уровня на 1 м; для понижения на 2 и 3 м приведены только конечные результаты. Вычертив продольный разрез по створу наблюдательных шурфов и нанеся на него данные понижений из таблицы 9, строят пониженные уровни грунтовых вод (так называемые кривые депрессии колодца), из которых можно определить радиус влияния колодца. В случаях незначительного уклона потока и подстилающего слоя грунта за радиус влияния принимается среднее его значение по 4 створам. Так как до понижения в 1 м движение было не установившимся, то и коэффициент фильтрации, подсчитанный для понижении $S=0,25—0,50—0,75$ м не будет постоянным, а постепенно уменьшающимся, вследствие того, что формула для K справедлива лишь для установившегося движения. Подсчеты K для таких понижений характеризуют картину установления процесса движения грунтовых вод.

Для рассматриваемого шурфа принимаем его радиус равным $r=0,6 \times 2=1,2$ м; радиус влияния берем с чертежа кривых депрессий; все необходимые подсчеты для коэффициента фильтрации сделаны ниже в таблице 10.

Таблица 10

S	R	$\frac{R}{r}$	$\log \frac{R}{r}$	$Q \lg \frac{R}{r}$	h	h ²	H ² — h ²	1,36 (H ² — h ²)	K
м	м			л/сек	м	кв. м	кв. м	кв. м	мм/сек
0,25	25	20,8	1,318	1,45	4,75	22,55	2,45	3,33	0,42
0,50	40	33,4	1,524	2,13	4,50	20,25	4,75	6,45	0,33
0,75	50	41,7	1,620	2,43	4,25	18,10	6,90	9,38	0,26
1,0	60	50,1	1,699	2,72	4,0	16,00	9,00	12,24	0,22
2,0	78	65,0	1,813	5,08	3,0	9,00	16,00	21,8	0,23
3,0	85	70,9	1,851	6,30	2,0	4,00	21,00	28,7	0,22

Таким образом коэффициент фильтрации получился около $0,22 \text{ мм/сек} = 19 \text{ м/сут.}$

В случае значительного уклона поверхности потока грунтовых вод и равного ему уклона подстилающего слоя грунта, радиус влияния также берется средний из наблюдений по четырем створам. По створам, нормальным к направлению естественного потока, на величину радиуса влияния, уклон потока теоретически не сказывается, что усматривается из следующей формулы движения грунтовой воды к полному колодцу, устроенному в пласте проницаемого грунта, имеющему уклон i к горизонту.

$$H^2 - h^2 = \frac{Q \log \frac{R}{r}}{1,36 K} \pm 2 H i \cdot (R - r) \cos \varphi \dots (25)$$

п. 3. Откачка из неполного колодца.

Неполным или несовершенным колодцем называется такой колодец, который не доходит до подстилающего водонепроницаемого грунта. Организация откачки и наблюдения, связанные с ней те же, что были рассмотрены выше, поэтому на них останавливаться не будем. Картина

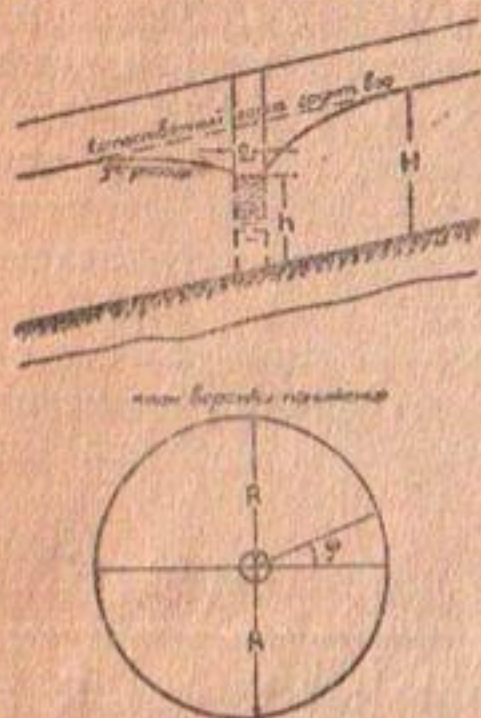


Рис. 12.

движения воды к колодцу здесь существенно отличается от предыдущей — колодец питается водой не только из того слоя грунта, который лежит кверху от его дна, но в питании его участвуют слои грунта, лежащие и ниже дна. Тот нижний слой грунта, который еще питает колодец будет являться нижней границей так называемой активной зоны грунта. Для определения глубины залегания активной зоны грунта проф. Ф. Форхгаймером предложено два очень сложного вида уравнения, совместное решение которых (по способу подбора) и укажет ее глубину. Не останавливаясь на отмеченных уравнениях ¹⁾, здесь дадим более простой, приближенный, способ определения коэффициента фильтрации грунта при откачке из

неполных, питающихся через стенки и дно, колодцев. Дебет такого колодца Q находится из уравнения.

$$Q = 1,36 \frac{H^2 - h^2}{\log \frac{R}{r}} K \sqrt{\frac{2h-t}{h}} \sqrt{\frac{t+0,5r}{h}} \dots (26)$$

где K — коэф. фильтрации грунта,

H — глубина активной зоны грунта,

h — расстояние от подошвы активной зоны до уровня воды в колодце,

t — глубина воды в колодце,

r — его радиус,

R — радиус влияния колодца.

При измерении H , h , R , r и t в м, расхода Q в л/сек., коэффициент фильтрации выражается в мм/сек.

Приблизленно глубину активной зоны H можно брать из следующих соотношений понижения уровня S к глубине колодца L (считая L от непониженного уровня грунтовых вод до его дна):

$$\begin{aligned} \text{при } S &= 0,2 L & H &= 1,3 (S + t) = 1,3 L \\ S &= 0,3 L & H &= 1,5 L \\ S &= 0,5 L & H &= 1,7 L \\ S &= 0,8 L & H &= 1,85 L \end{aligned} \dots (27)$$

¹⁾ Упрощение решения этих уравнений смотреть в упомянутом „Движении грунтовых вод“ Е. Замарина.

в пределе при приближении S к L глубина H стремится к $2L$.

Пример 2-й. Колодец тех же размеров ¹⁾, что и в первом примере, устроен в проницаемом грунте мощностью в 25 м; при понижениях

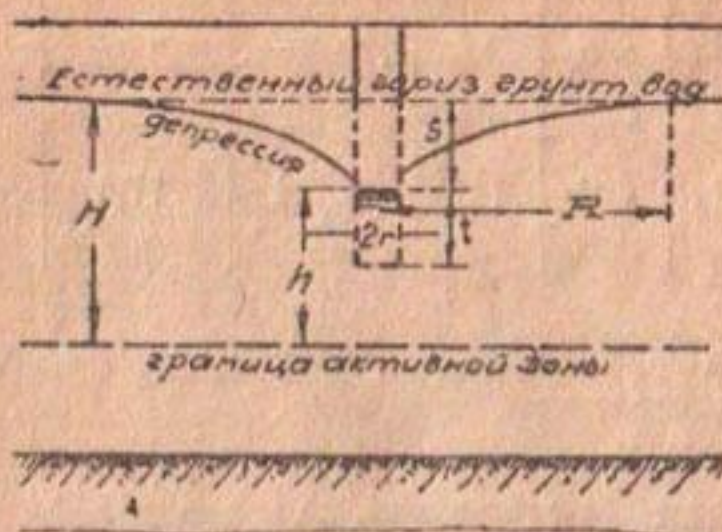


Рис. 13.

$S = 1,2$ и 3 м, при тех же радиусах влияния, дебет его был замерен в количестве 2, 4 и 5 л/сек. Обозначим для сокращения через A . Зная

$$A = \sqrt[4]{\frac{2h-t}{h}} \sqrt{\frac{t+0,5r}{h}} \dots \dots \dots (28)$$

глубину колодца $L = 5$ м и понижения в нем уровня, находим интерполируя, глубины активной зоны H , далее величины $h = H - S$ и т. д. Подсчеты сведены в след. таблицу

Таблица 11

Q	S	t	H	h	H ²	h ²	H ² - h ²	A	$1,36 \times A \times \frac{R}{(H^2 - h^2)}$	$Q \lg \frac{R}{r}$	K
2	1	4	6,5	5,5	42,1	30,3	11,8	0,976	15,7	3,40	0,216
4	2	3	8,0	6,0	64,0	36,0	28,0	0,858	32,8	7,25	0,221
5	3	2	9,0	6,0	81,0	36,0	45,0	0,752	46,0	9,25	0,201

в среднем $K = 0,21$ мм/сек.

Интересно сопоставить величину коэффициента фильтрации в том случае, когда принимают, что вся толщина проницаемого грунта участвует в питании колодца.

Такое неправильное допущение несомненно поведет к грубой ошибке в оценке фильтрационных свойств грунта; что усматривается из подсчетов таблицы 12 при $H = 25$ м.

¹⁾ Все примеры имеют только показательный, для применения формул, характер.

Q	S	t	h	h ²	H ² —h ²	A	$\frac{1,36A}{(H^2-h^2)}$	$Q \lg \frac{R}{r}$	K
2	1	4	24	576	49	0,509	33,9	3,40	0,100
4	2	3	23	529	96	0,465	60,7	7,25	0,119
5	3	2	22	484	141	0,404	77,5	9,25	0,119

в среднем коэффициент фильтрации получился равным 0,11 мм/см, т. почти вдвое преуменьшенным.

п. 4. Откачка из колодца, питающегося через дно.

Для дебета колодца, питающегося через дно, проф. Ф. Форхгаймер дана формула для того случая, когда скважина опущена до конца проницаемого слоя

$$Q = 2dSK \dots \dots \dots (29)$$

где Q — дебет в л/сек.,
 d — диаметр скважины в м,
 S — понижение горизонта в скважине против естественного уровня грунтовых вод. в м,
 K — коэффициент фильтрации в мм/сек.

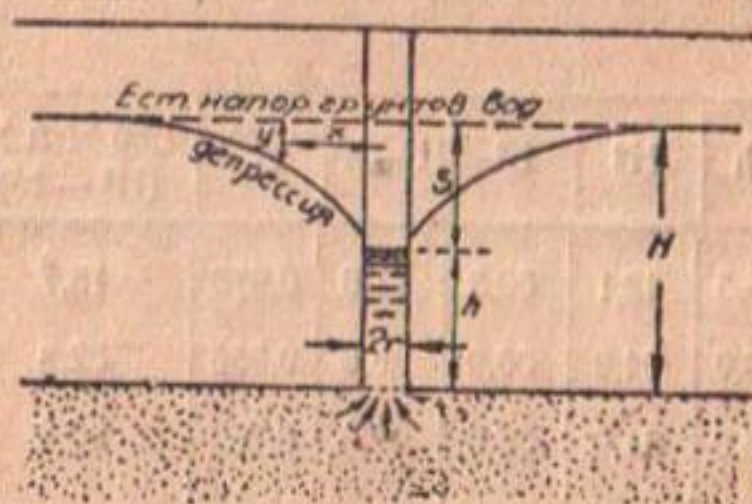


Рис. 14.

Эту же формулу применяют, что нельзя признать правильным, тогда, когда верхний непроницаемый слой отсутствует, т. е. когда скважина вся располагается в проницаемом слое (рис. 14а). Оборудование ведения наблюдений откачки подобны предыдущему случаю.

Ввиду того, что такое расширенное применение формулы (29) совсем верно в рассматриваемом случае, особое внимание должно быть обращено на наблюдение за кривой депрессии для того, чтобы в будущем накапливая материал по откачкам можно было оценить степень неточности расширенного толкования формулы (29)

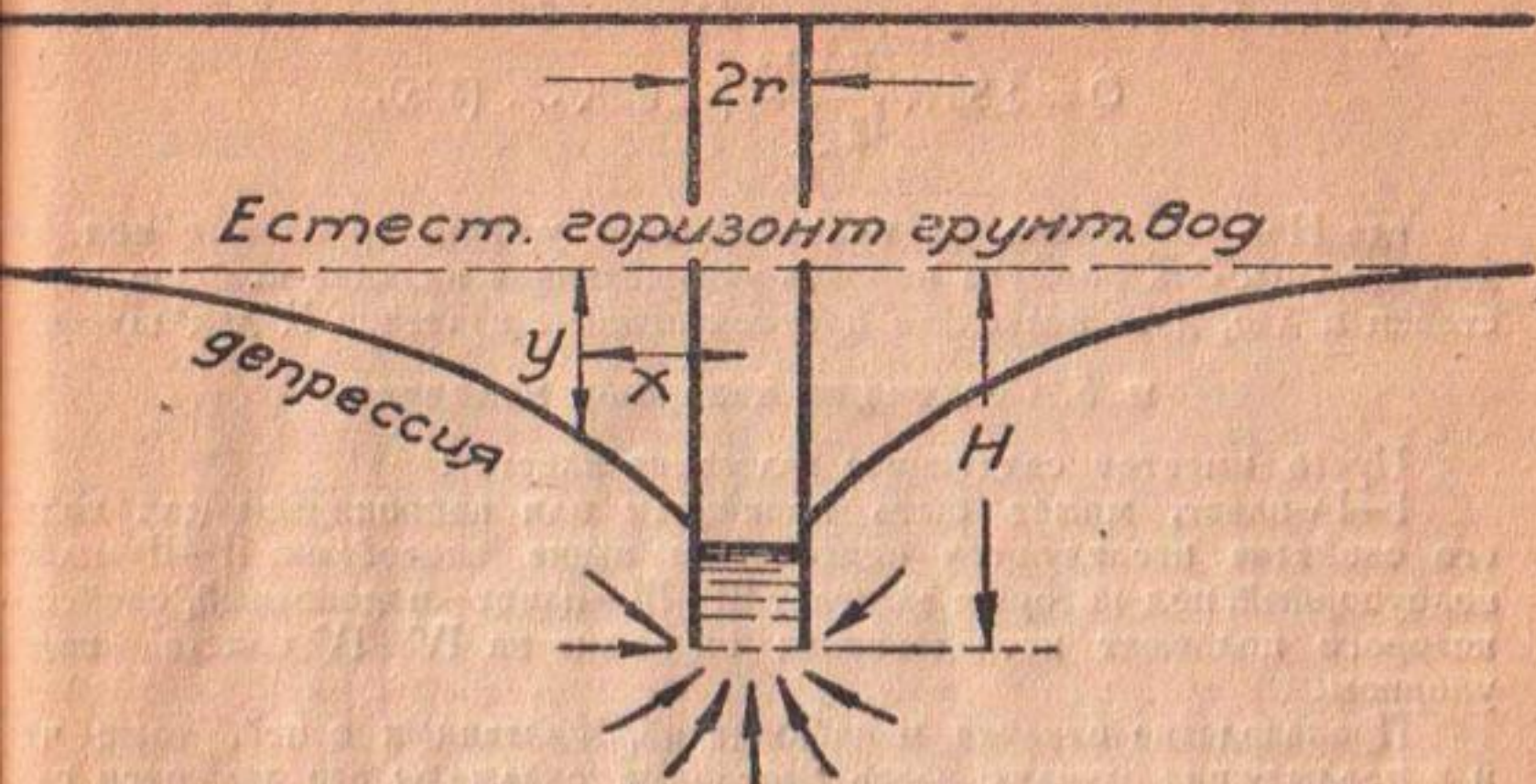


Рис. 14а.

Уравнение кривой депрессии при наличии непроницаемого слоя А теоретически имеет следующий вид

$$\sin \frac{\pi y}{2s} = \frac{r}{x} \quad (30)$$

которое может быть заменено следующей таблицей

Таблица 13

$\frac{x}{r}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\frac{y}{s}$	1	0,33	0,22	0,16	0,13	0,11	0,09	0,08	0,07

Вследствие выноса мелких частиц грунта со дна скважины производительность колодца меняется при одном и том же понижении S; так если в результате выноса грунт у конца примет, примерно, полушаровое залегание, то дебет скважины увеличится до

$$Q = \pi d S K \quad (31)$$

Устройство сетчатого фильтра на дне скважины может иметь обратные последствия—фильтр, забиваясь мелкими частицами грунта, снижает дебет скважины; лучше дно скважины укреплять насыпкой смеси песка с мелким гравием (так наз. обратный фильтр).

В рассмотренный выше случай откачки из несовершенного (не полного) колодца при непроницаемом дне его, что может быть при откачке из скважины, имеющей проницаемые стенки, защищенные сеткой—фильтром (так наз. стренер) и непроницаемое дно (когда конец скважины оканчивается башмаком)—вносится поправка в формулу дебета по предыдущей (29), что дает в результате

$$Q = 136 \frac{H^2 - h^2}{\log \frac{R}{r}} K \sqrt{\frac{2h-t}{h}} \sqrt{\frac{t+0,5r}{h}} - 2 d S K \quad (32)$$

Для неполного колодца формула (26) может быть заменена более простой

$$Q = 1,36 K \frac{H^2 - h^2}{\lg \frac{R}{r}} + 2 dSK \dots (32a),$$

где H — расстояние от непониженного уровня грунтовых вод до дна колодца. Эта формула порознь учитывающая питание колодца через стенки и дно, дает несколько преуменьшенные значения K для шурфов.

п. 5. Откачка из напорных колодцев.

Пусть имеется следующее залегание пластов:

I—I—пласт, может быть проницаем или непроницаем для воды; его свойства исследуются описанными выше способами; II—II—пласт водоупорный, под которым залегает III—III—пласт—водоносный, свойства которого подлежат исследованию; он лежит на IV—IV пласте—водоупорном.

Производство откачки и наблюдений, связанных с ней, тоже что и в предыдущих случаях: здесь смотровые скважины все делаются глу-

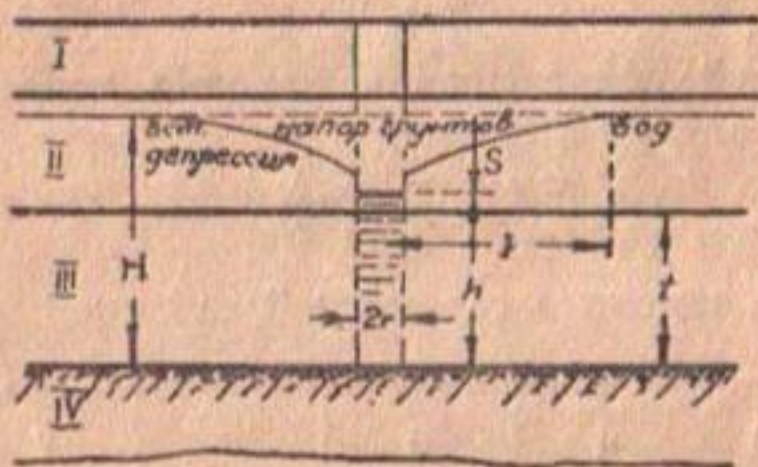


Рис. 15.

бокими, до водопроводящего слоя. Колодец питается через стенки и дном доходит до нижнего подстилающего водонепроницаемого слоя. Для коэффициента фильтрации Дюпюи дает следующую формулу

$$K = \frac{Q \log \frac{R}{r}}{2,73 tS} \dots \dots \dots (33),$$

где K — коэф. фильтрации в мм/сек.,

Q — дебет колодца в л/сек.,

R — радиус влияния колодца,

r — радиус колодца,

t — мощность водоносного пласта в м,

S — понижение в м уровня воды в колодце против естественного уровня грунтовых вод.

При длительной и мощной откачке уровень воды в колодце может быть значительно понижен и опуститься ниже верхнего водоупорного пласта, так что глубина воды h в колодце станет меньше t . В таком случае коэффициент фильтрации находится из более сложной зависимости (по Шульце)

$$K = \frac{Q \log \frac{R}{r}}{1,36 (2Ht - t^2 - h^2)} \dots \dots \dots (34)$$

Последняя формула в пределе, когда $h = t$, дает тоже значение, что и формула (33).

п. 6. Откачка из колодца, проходящего через пласты грунта различной водоотдачи.

Положим, что подлежит исследовать коэффициент фильтрации двух водопроницаемых соседних слоев грунта (см. рис. 16). Для исследования I слоя применяем откачку из неполного колодца по предыдущему, но так закладывая его на дно, чтобы активная зона, питающая его, не превышала глубину h_1 непониженной воды в нем¹⁾. Далее если глубина за-

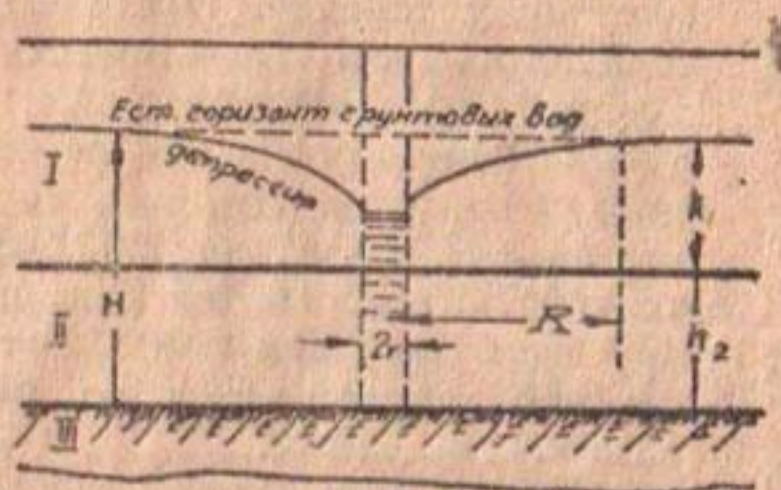


Рис. 16.

легания подстилающего непроницаемого пласта III не велика—то доводят до него колодец. Откачка из такого углубленного колодца дает по И. Шульце, следующее уравнение для определения коэффициента фильтрации нижнего слоя K_2 мм/сек.

$$K_2 = \frac{Q \log \frac{R}{r} - 1,36 K_1 (h_1^2 - t^2)}{2,73 h_2 (h_2 - t)} \dots \dots \dots (35),$$

где Q —дебет в л/сек.,

K_1 —коэффициент фильтрации I слоя в мм/сек, найденный из

R —радиус влияния колодца из первой откачки,

r —радиус колодца,

h_1 и h_2 —глубины в м I и II слоя, насыщенные водой,

t —глубина воды в м в колодце, считая от раздельной линии между I и II пластом. Формула (35) применима при $t=0$

Когда подстилающий слой III залегает глубоко и опустить для него колодец для опытной откачки или дорого или затруднительно—в таких случаях определение K_1 для I пласта ведут по предыдущему, а вместо отысканий K_2 —дают общую характеристику водоотдачи обоих пластов в целом, для чего колодец углубляют во II слой и продолжают откачку как из неполного колодца. Полезно углубление колодца производить не сразу, а постепенно, в несколько приемов с тем, чтобы получить более подробную характеристику водоотдачи по мере углубления.

¹⁾ Мощности залегания пластов 1 и 2, т. е. h_1 и h_2 предполагаются известными из буровой разведки.

Нанесение на координатную сетку значений так полученных коэффициентов фильтрации как функции понижения уровня в колодце $K=F(T)$, при выдержанной однородности строения каждого из слоев I и II, должно бы дать кривую, стремящуюся приблизиться к значению K_2 .

п. 7. Кратковременная откачка.

Выше, в примере 1-м, мы видели, что в случае неустановившегося движения приводимые здесь формулы не дают верного решения; происходит это от того, что формулы составлены для относительного установившегося движения и при неустановлении движения они не учитывают влияние ускорения. Последнее создает как бы дополнительный (динамический) уклон потока, дающий повышенный дебет; при учете этого уклона получили бы тот же коэффициент фильтрации; при неучете его, т. е. тогда, когда в расчет мы вводим уклон меньший, чем есть в действительности, естественно должны получить преувеличенные значения коэффициента фильтрации. Последнее усматривается из такой грубой, но показательной схемы.

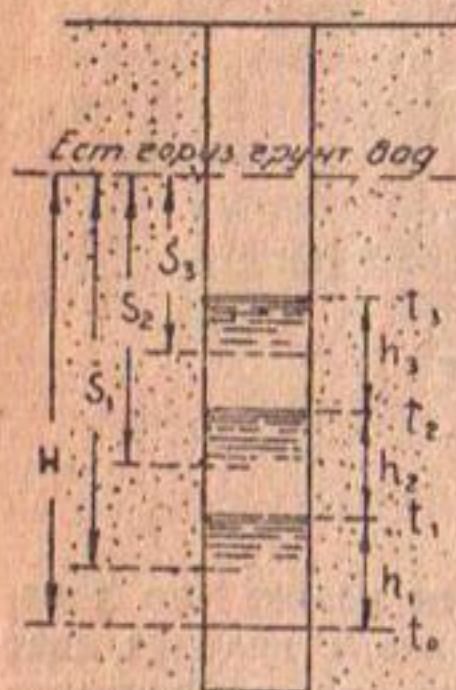


Рис. 17.

Имеем зависимость дебета Q от живого сечения ω и скорости фильтрации v :

$$Q = \omega v = \omega K i \dots \dots \dots (36)$$

При заданном постоянном дебете Q и площади ω скорость v также должна быть постоянна, а так как она равна произведению коэф. фильтрации K на уклон i , то при правильном определении уклона i получаем верный коэф. фильтрации K ; если же вместо действительного уклона i подставляется несколько меньший — естественно значение K получится преувеличенным против действительности и тем больше, чем меньше был взят уклон i . Приведенные соображения послужили основанием для обработки результатов кратковременной откачки из колодцев, дающей до некоторой степени характеристику водоотдачи грунтов.

Откачка из скважины, питающейся через дно.

Кратковременная откачка, наблюдения за ней и обработка их в данном случае не сложны. Заложив скважину откачивают из нее воду на возможно большую глубину (т. е. на возможно большее понижение) и в дальнейшем наблюдают время и высоту поднятия в ней уровня воды. При откачке из нее возможно понижение уровня в ней довести почти до самого дна, но в таком случае необходимо до начала откачки озаботиться укреплением ее дна фильтром (песком с мелким гравием), во избежание выноса мелких частиц, могущего исказить результаты опыта. Надо отметить, что первые наблюдения за повышением в скважине уровня (тотчас после прекращения откачки) не всегда надежны вследствие быстрого темпа их поднятия — трудно успеть точно замерить и записать и новый уровень, и время его поднятия; также мало надежны ко-

ичные записи поднятия уровня (вблизи непониженного горизонта) — вследствие предельной точности из замера (1 — 0,5 см), равной замеряемой высоте под'ема. Обработка наблюдений ведется по формуле (29), в которой дебет принимается равным отношению объема W воды, поступившей в трубу на время вступления t сек, а понижение S считается от непониженного уровня до середины очередного поднятия воды в скважине.

Рассмотрим на примере применение способа кратковременной откачки¹. В скважине диаметром 10 см глубиной 2,71 м, непониженный уровень грунтовых вод стоял от поверхности земли на 1,69 м; вода в скважине была откачена до $H = 2,71 - 1,69 = 102$ см от непониженного горизонта (рис. 17); постепенное поднятие уровней в ней приведено в таблице.

Таблица 14

Время t в сек от начала . . .	60	120	180	240	360	480	780	1080	1380	1680	1980
Среднее понижение уровня см.	91	74	63,5	55,5	46	36	26,5	18,5	14,5	12	10,5
Поднятие h уровня см	22	12	9	7	12	8	11	5	3	2	1
$t_n - t_{n-1}$	60	60	60	60	120	120	300	300	300	300	300

Подсчет ведется по следующим формулам:

Объем поднявшейся воды за t_1 сек равен $W_1 = \frac{\pi d^2}{4} h_1$

Средний дебет ее за время t_1 сек будет

$$Q_1 = \frac{W_1}{t_1} = \frac{\pi d^2}{4} \frac{h_1}{t_1}$$

Для промежутка времени t_2 соответственно будет

$$Q_2 = \frac{W_2}{t_2 - t_1} = \frac{\pi d^2}{4} \frac{h_2}{t_2 - t_1} \text{ и т. д.}$$

Среднее понижение для первого промежутка времени t_1 , равно

$$S_1 = H - \frac{h_1}{2}$$

Для промежутка t_2 среднее понижение будет

$$S_2 = H - h_1 - \frac{h_2}{2} \text{ и т. д.}$$

Коэффициент фильтрации найдется из:

$$\text{для } t_1 \dots K_1 = \frac{Q_1}{2dR_1} = \frac{\pi d}{8t_1} \cdot \frac{h}{H - \frac{h_1}{2}} \dots (37)$$

$$\text{для } t_2 \dots K_2 = \frac{Q_2}{2dR_2} = \frac{\pi d}{8(t_2 - t_1)} \cdot \frac{h_2}{H - h_1 - \frac{h_2}{2}} \dots (38)$$

¹ В примере приводится обработка данных по откачке, произведенной агр. В. С. Малыгиным на дренажном участке Оп.-Исл. Ин-та Вод. Хоз. в Золотой Орде (Голодная Степь).

Производя по приведенным формулам подсчеты данных предыдущей таблицы, получаем следующие коэффициенты фильтрации, отнесенные к средним промежуткам времени.

Таблица 15

t сек. . .	30	90	150	210	300	420	630	930	1230	1530	1830
k.мм/сек. 10 ³	158	106	93	83	85	73	54	35	27	22	12,5

Если по данным последней таблицы построить зависимость $k = f(t)$, то получим (см. рис. 18) кривую, асимптота которой (прямая пунктир-

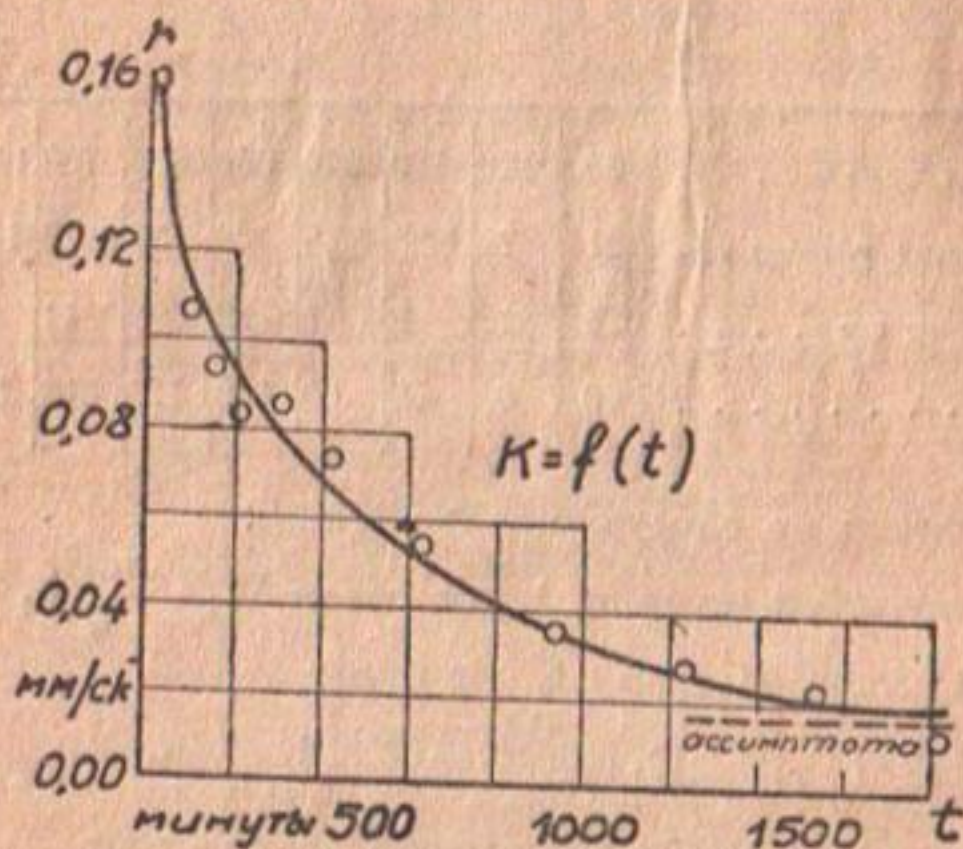


Рис. 18.

ная) и даст искомое значение коэффициента фильтрации; в нашем случае k равен, примерно, 0,15 мм/сек.¹⁾

Откачка из скважины, питающейся через дно и стенки.

Откачка в рассматриваемом случае подобна предыдущей — также откачивают воду до некоторого наибольшего понижения S_0 и потом наблюдают интенсивность поднятия воды (высоту и время поднятия) в скважине; обработку ведут аналогично предыдущему случаю по формуле

$$Q = 1,36K \frac{H^2 - h^2}{\log \frac{R}{r}} \sqrt[4]{\frac{2h - t}{h}} \sqrt{\frac{t + 0,5r}{h}} \dots (39)$$

в которую по указанным выше соотношениям подставляют значения активной зоны H и среднюю глубину воды в колоде h . Результаты подсчетов должны были бы дать снижающуюся кривую $K = F(t)$, подобно кривой (рис. 18) асимптота к которой и укажет примерное зна-

¹⁾ См. ниже о применимости формул.

чение коэффициента фильтрации грунта. Однако при быстрой откачке воды из скважины происходит передвижение мельчайших частиц грунта к фильтру (стренеру) скважины, создавая тем самым повышенные сопротивления вступлению воды в скважину, что в результате дает не плавную кривую $K = F(t)$ типа рис. 18, а ряд разбросанных точек.

В таком случае приходится брать для K средние значения из полученных подсчетов, что конечно дает менее точное решение.

Неопределенность в обработку вносит и установление радиуса влияния вследствие быстроты изучаемого процесса, поэтому приходится задаваться наперед отношением R к r что, конечно, за отсутствием большого исследовательского материала по подобным полевым работам вносит заметную долю неточности в конечные результаты.

Как первое приближение к назначению отношения R к r можно указать следующие соотношения между ними и глубиной понижения уровня в колоде.

Таблица 16

Грунты	Галечниковый	Лесс	Песчаные
$S = 0,3 \text{ м}$	$R/r = 50$	20	35
0,5	60	25	45
1,0	85	35	60
2,0	100	40	70

Последние цифры соответствуют более или менее установившейся форме движения грунтовых вод; в нашем же случае для неуставившегося движения при наибольшем понижении (с которого начинается опыт) радиус влияния еще не успеет развиваться, как начинается подъем воды в скважине; дальнейший подъем воды в ней продолжает препятствовать развитию радиуса влияния и он начинает сокращаться; таким образом колебания его размеров в общем незначительны.

В качестве примера обработки наблюдений за кратковременной откачкой из стренерной скважины, рассмотрим следующий случай¹.

Скважина диаметром 10 см заложена в суглинке на глубину 292 см; грунтовые воды стояли от поверхности земли на 81 см; вода из скважины была откачена почти до дна, на глубину $S = 180 \text{ см}$. Наблюденная интенсивность поднятия грунтовой воды была следующей:

Таблица 17

№№ Наблюдений	1	2	3	4	5
h Поднятия в см	28	32	58	20	42
t Продолжит. в сек.	30	30	90	120	—

¹ В примере приводится обработка данных по откачке, произведенной агр. В. С. Малыгиным на дренажном участке Оп.-Иссл. Ин-та Вод. Хоз. в Золотой Орде (Голодная Степь).

Обработка наблюдений сведена в следующую таблицу.

Таблица 18

№№ наблюдений	1	2	3	4
Об'ем воды $W = \frac{\pi d^2}{4} h$ куб. см .	2200	2510	4550	1570
Дебет $Q = W : t$ куб. см/сек. . .	73,3	83,7	50,6	13,1
$\frac{R}{r}$ принято	35	35	35	35
S Среднее понижение см . . .	156	136	91	52
t Средняя глубина воды в колоде см	45	75	120	159
n из формулы $H = n (s + t)$. .	1,82	1,75	1,65	1,25
H глубина актив. зоны см . . .	3,85	3,70	3,50	2,65
$h = H - s$ см	229	234	259	213
$A = \sqrt[4]{\frac{2h - t}{h}} \sqrt{\frac{t + 0,5r}{h}}$. .	0,543	0,666	0,778	0,930
K — коэф. фильтрац. мм/сек. 10^3	14,6	17,2	13,5	6,5

Таким образом коэффициент фильтрации будет около 0,007 — 0,010 мм/сек. — принимая во внимание его два последние значения; среднее значение по всем наблюдениям будет 0,013 мм/сек.

п. 8. Наливные шурфы

Для ориентировочного определения коэффициента фильтрации можно применить способ наливных шурфов в тех случаях, когда грунтовые воды залегают глубоко. Для суглинков, в которых просачивание из шурфа подливаемой воды происходит медленно и в которых форма растекания воды устойчива и близка к шаровой — этот способ определения K дает приемлемые результаты. В песках и вообще сильно проницаемых грунтах применение этого способа мало пригодно вследствие непостоянства и неопределенности форм растекания воды — от вытянутого по вертикали эллипсоида до клина в конце опыта.

Опыты с наливными шурфами производятся таким образом: в шурф, лучше круглого сечения (при квадратной или иной форме пересчет на круговую форму ведется, как было указано выше, для откачки из совершенного колодца), подливается вода так, чтобы уровень ее в шурфе был постоянен; при этом замеряются время подливки воды и ее об'ем (т. е. дебет шурфа). Вода, проникая из шурфа в грунт, находится в неустановившемся движении; применение к такому движению зависимостей равномерного установившегося движения дает ошибку, уменьшающуюся с увеличением до некоторого предела длительности опыта. Отсюда следует меньшая ценность данных первых и последних наблюдений и большая —

промежуточных наблюдений, что верно, однако, до тех пор, пока еще не произошло оплываний и др. нарушений целостности грунта в шурфе.

Если бы удалось наполнить шурф (рис. 19) водой до заданной отметки H в весьма короткое время (теоретически-мгновенно), не разрушая грунта, то средний уклон потока (считая по центральной вертикали) был бы очень велик (теоретически бесконечен), так как уклон равен отношению конечной величины H на очень малый путь, который вода успела бы пройти за этот короткий промежуток времени. По истечении

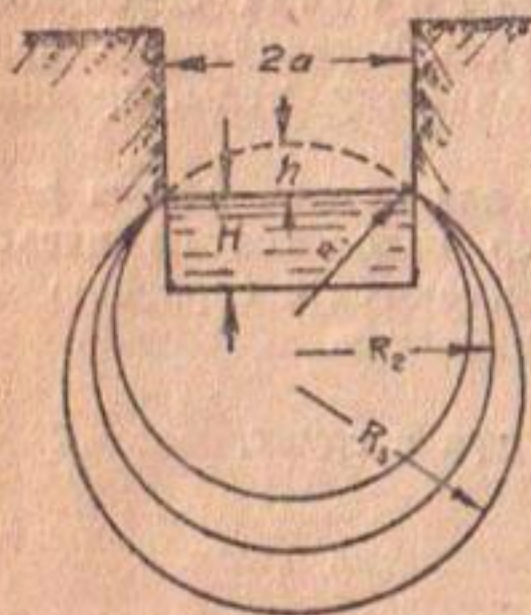


Рис. 19.

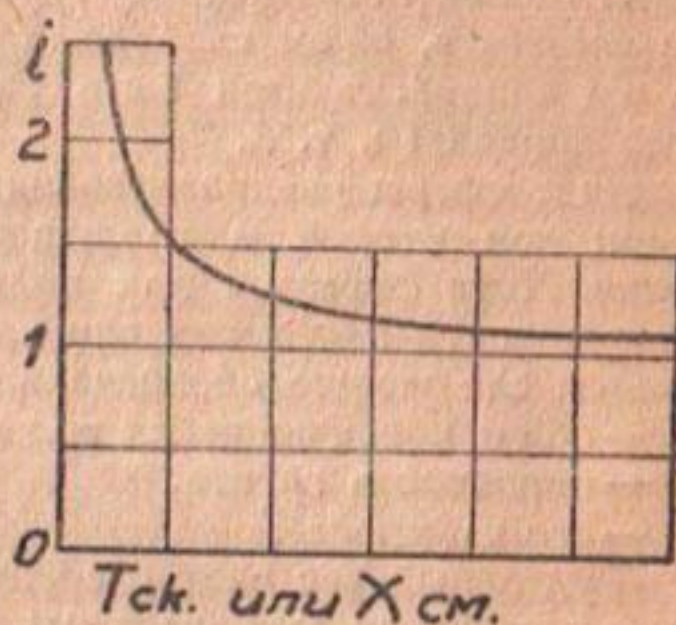


Рис. 20.

моментов времени t_1, t_2, t_3 и т. д., вода распространится по области ограниченной кривой I, кривой II, III и т. д.; подсчитав среднее перемещение воды от смоченного контура шурфа до I кривой . . . x_1 ; от I кривой до II кривой . . . x_2 и т. д. мы можем найти средние уклоны потока, отнесенные к моментам времени t_1, t_2 и т. д., они будут равны.

$$i_1 = (H + x_1) : x_1; i_2 = (H + x_1 + x_2) : (x_1 + x_2) \quad \dots \quad (40)$$

Не трудно видеть, что так подсчитанные уклоны будут уменьшаться от $i_0 = \infty$ до $i = 1$, как показано на рис. 20 что может быть выражено уравнением

$$(i - 1) x = 1 \quad \dots \quad (41)$$

Кроме уклонов мы можем подсчитать и средние скорости фильтрации от шурфа до I кривой; от I кривой до II и т. д., они равны

$$v_1 = x_1 : t_1; v_2 = x_2 : (t_2 - t_1) \quad \dots \quad (42)$$

Зная средние скорости и уклоны по ним, находим коэффициент фильтрации.

Можно иным путем подойти к определению K : в начале движения, когда уклон велик, скорость также будет очень велика; в конце движения, когда уклон достигнет единицы, скорость будет равна коэффициенту

фильтрации; таким образом, изменение скорости v по времени сходно с изменением уклона по уравнению (41) и мы можем написать

$$(v - k) t = \beta \dots \dots \dots (43)$$

где β — постоянное, характеризующее данный грунт.

Для обоих путей определения коэффициента фильтрации необходимо знать форму растекания воды в грунте; мы не сделаем большой ошибки, если примем ее за шаровую¹, размеры которой находятся из условий равенства объема поглощенной грунтом воды и объема свободных пор грунта; например, объем свободных пор грунта, ограниченный контуром шурфа и I кривой, должен быть равен количеству воды, проникшей в грунт до кривой I и т. д.

Подсчет сферы распространения воды для первой сферы решается подбором; для второй и следующих сфер находится из несложного уравнения. Хотя формулы для подсчетов имеются в справочниках, все же для цельности изложения они здесь приводятся.

Введем следующие обозначения:

W — объем просочившейся воды из шурфа в грунт,

ρ — порозность грунта,

m — его влажность,

δ — удельный вес частиц грунта,

H — постоянная глубина воды в шурфе,

a — его радиус,

$R_1, R_2 \dots$ радиусы сфер растекания воды,

$h_1, h_2 \dots$ возвышение над уровнем в шурфе продолжения сфер.

Как уже было сказано подбор радиусов сфер растекания ведется из условий равенства объема свободных пор грунта сферы и объема просочившейся воды из шурфа; подбор первой сферы ведется так: задаются величиной ее радиуса R_1

по следующим формулам подсчитывают объемы:

$$\text{сферы } V_1 = 4,19 R_1^3 \dots \dots \dots (44)$$

$$\text{воды в шурфе } V_2 = 3,14 a^2 H \dots \dots \dots (45)$$

$$\text{сегмента над сферой } V_3 = 0,52 h_1 (3a^2 + h_1^2) \dots \dots \dots (46)$$

$$\text{обозначим через } Y_0 \text{ объем брутто грунта в сфере, т. е.} \dots \dots \dots (46)$$

$$V_0 = V_1 - V_2 - V_3 \dots \dots \dots (47)$$

Объем пор тогда будет равен $V_0 \rho$

Часть этих пор занята водой, составляющей влажность грунта; ее объем найдется из следующих соотношений:

$V_0 (1 - \rho)$ будет объем частиц грунта

$V_0 (1 - \rho) \delta$ — их вес и

$V_0 (1 - \rho) \delta m$ — вес и объем воды — влажности грунта.

В результате для подбора получаем следующее уравнение

$$W = V_0 [\rho - (1 - \rho) \delta m] \dots \dots \dots (48)$$

¹ Наблюдения над формой растекания воды, произведенные инж. М. М. Решеткинским на работах ОИИВХ в ташкентском районе (Нов. Джун) 1929 г. показывают, что она близка к эллипсоиду-сплюснутому в начале, вытянутому в конце опыта и к шару в середине опыта.

которое должно удовлетвориться соответствующим выбором радиуса R_1 ; здесь величину h_1 следует заменить через

$$h_1 = R_1 - \sqrt{R_1^2 - a^2} \dots \dots \dots (49)$$

подбор радиуса второй, третьей сферы и т. д. производится гораздо проще по уравнению

$$4,19 (R_2^3 - R_1^3) [p - (1 - p) \delta m] = W_2 \text{ и т. д. } \dots \dots \dots (50)$$

Последнее уравнение не совсем точно, но неточность его не велика; следует отметить, что выражение стоящее в прямых скобках — постоянно.

Определение поверхностей θ сфер растекания производится по следующим зависимостям

$$\theta_1 = 6,28 R_1 (2 R_1 - h_1) \dots \dots \dots (51)$$

$$\theta_2 = 6,28 R_2 (2 R_2 - h_2) \dots \dots \dots (52)$$

Самая обработка наблюдений над просачиванием воды из шурфа заключается в следующем:

Первый способ: находят для соответствующих $W_1, W_2 \dots$ радиусы сфер $R_1, R_2 \dots$ и их поверхности растекания $\theta_1, \theta_2 \dots$ далее находят средние скорости фильтрации по формулам

$$v_2 = \frac{2 W_2}{(\theta_1 + \theta_2) t_2}; \quad v_3 = \frac{2 W_3}{(\theta_2 + \theta_3) t_3}; \text{ т. д. } \dots \dots \dots (53)$$

где t_2 — продолжительность впитывания объема W_2 и т. д. Построив по найденным средним скоростям функции их по времени длительности наблюдений $v = F(t)$ — проводят к ней асимптоту (см. рис. 21), которая и покажет величину коэф. фильтрации.

Второй способ. Находят средние пути фильтрации между сферами x из зависимостей

$$x_1 = \frac{v_1}{t_1}; \quad x_2 = \frac{v_2}{t_2}; \dots \dots \dots (54)$$

Далее находят средние уклоны

$$i_1 = \frac{H + x_1}{x_1}; \quad i_2 = \frac{H + x_1 + x_2}{x_1 + x_2}; \dots \dots \dots (55)$$

Беря отношение средних скоростей к средним уклонам получают средние коэффициенты фильтрации

$$k_2 = \frac{v_2}{i_2}; \quad k_2 = \frac{v_2}{i_2}; \dots \dots \dots (56)$$

Графическое изображение кривых $i = \omega(t)$ $k = f(t)$ дает снижающиеся к асимптоте кривые (рис. 21).

Для применения приведенных формул необходимо знать удельный вес частиц грунта δ , влажность и порозность грунта; величина δ устойчива и мало изменяется; обычно она равна 2,55 — 2,65, в среднем $\delta = 2,6$ влажность необходимо определять (термостатом и весами), в крайнем случае можно обойтись для ориентировочной ее оценки и без термостата, взвешивая навеску пробы грунта на технических весах, просу-

шивая ее на солнце (размельчив и предохранив ее от пыли) и снова взвешивая. Порозность определяется приемами описанными ниже; она колеблется для сухого лесса от 45% до 50% в верхних его слоях (до 2—2,5 м) и от 40% до 45% в более глубоких слоях, снижаясь для плотных лессов до 35%—40% и иногда до 30%.

В качестве примера применения указанных выше формул (громоздких по виду и простых в приложении) проведем обработку результатов

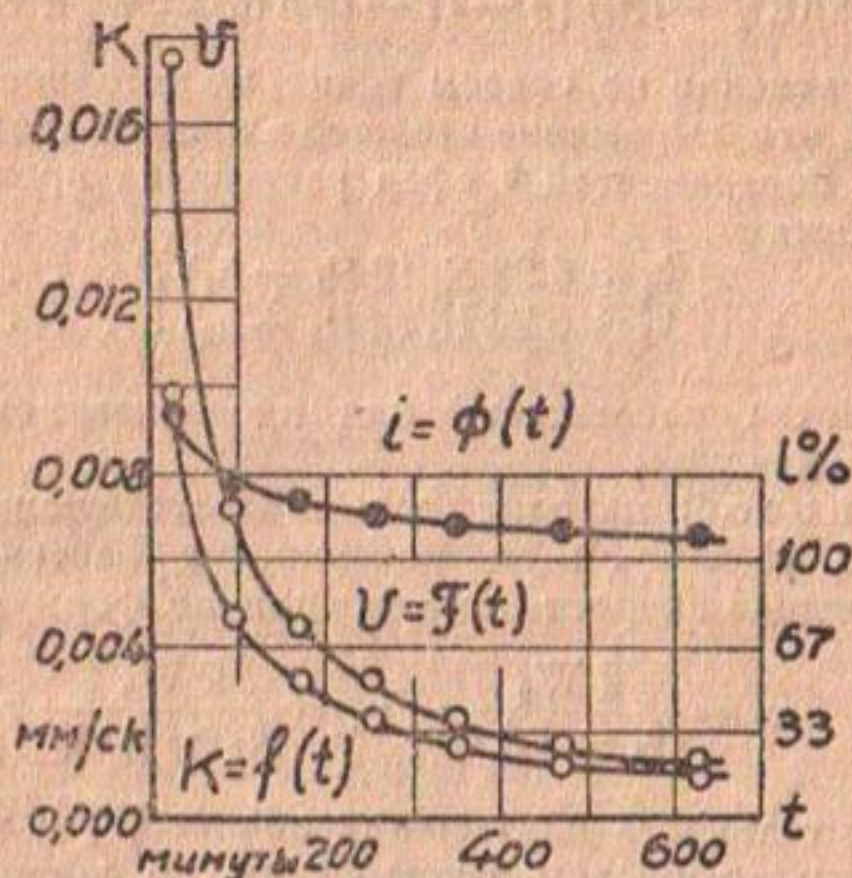


Рис. 21.

одного из полевых опытов, выполненных инж. М. М. Решеткинским на Новом Джуне (Ташкентский район): в шурф размерами $0,5 \times 0,5$ м подливалась вода до постоянной глубины 5 см; шурф заложен на 74 см от поверхности грунта; результаты наблюдений были следующие.

Таблица 19

№№ наблюдений	1	2	3	4	5	6	7
Объем влитой воды л	50	50	50	50	50	59	68
Продолжительность вливания мин.	60	71	79	91	99	140	179
Средняя длительность опыта мин.	30	96	171	256	351	470	630

Для обработки приняты $\delta = 2,6$, влажность $m = 9\%$ по отношению к сухому грунту и порозность 45%.

Результаты обработки сведены в следующую таблицу (для размеров в дециметрах):

№№	R	h	0	б Среди.	x Среди. продви- жен. воды	v . 100 мм/сек. средн. скор.	i ‰ Среди.	K . 100 мм/сек.
0	0	0	35,0	80,7	0,62	1,74	180	0,97
1	3,60	1,60	126,4	166,2	0,30	0,71	154	0,46
2	4,37	1,21	206	241,0	0,21	0,44	144	0,31
3	4,95	1,01	276	306,5	0,17	0,32	139	0,23
4	5,41	0,90	337	366,0	0,14	0,23	135	0,16
5	5,81	0,83	395	426,0	0,14	0,17	132	0,13
6	6,21	0,76	457	490,5	0,14	0,13	129	0,10
7	6,63	0,71	524					

Построенные на рис.—21 кривые зависимостей средних скоростей v , коэф. фильтрации k и средних уклонов i в функции времени продолжительности опыта (т. е. длительности подливки воды в шурф) показывают, что оба способа определения коэф. фильтрации (по средним уклонам и средним скоростям) дают одно и то же решение: $k = 0,001$ мм/сек.

г. 9 Поглотительные колодцы.

Определение коэффициента фильтрации возможно производить не только откачкой, но и наливанием воды в колодцы; растекание воды из такого колодца (почему он называется поглотительным) при установлении движения ее, характеризуемого постоянством вливаемого в него расхода и постоянством уровней воды в смотровых колодцах, может быть оценено по Дюпюи, следующей формулой

$$K = \frac{Q \log \frac{R}{r}}{1,36 (h^2 - H^2)} \dots \dots \dots (57)$$

где K — коэф. фильтрации грунта в мм/сек.

Q — дебет поглощаемой воды (вливаемой в колодец) в л/сек.

R — радиус влияния колодца

r — его радиус

h — глубина воды в колодце в м

H — глубина естественной грунтовой воды в м

Схема движения приведена на рис. 22; она соответствует полному колодцу (т. е. опущенному до непроницаемого подстилающего слоя грунта) и питающего грунт через свои сквозные стенки.

Надо сказать, что этот способ менее пригоден чем откачка, в виду того, что прониканию воды в грунт сильно препятствует почвенный воздух; с другой стороны, показания смотровых колодцев, опущенных до естественных грунтовых вод, тотчас же после наливки воды в колодец дадут точки плавной кривой депрессии, которая в действительности

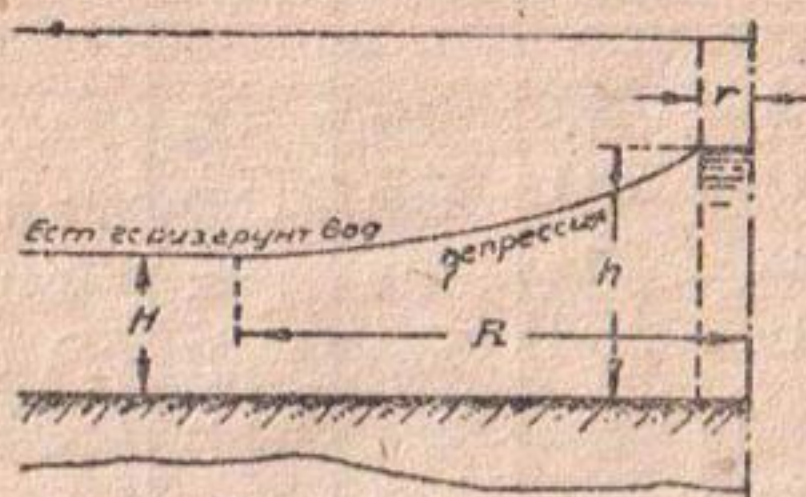


Рис. 22.

сти будет находиться много ниже и только с течением времени будет подтягиваться к показаниям смотровых колодцев.

п. 10. Применимость формул.

Рассмотренные выше формулы применимы при соблюдении закона Дарси, т. е. линейной зависимости между уклоном потока и скоростью фильтрации; между тем выше были отмечены те условия (повышенные уклоны и большие поры грунта), при которых движение грунтовых вод уже не следует закону Дарси — когда скорость фильтрации становится пропорциональной не первой степени уклона, а меньшей, заключающейся от 0,5 до 1. При откачке из колодца большого дебета необходимо предполагать и большое понижение уровня воды в нем, а тем самым и уменьшение действующей площади колодца, через которую вода в него входит. Так как в таком случае дебет велик, а живое сечение потока близь колодца мало (вследствие малости h), то скорости фильтрации в районе колодца могут достичь таких величин, что закон Дарси будет нарушен.

Следовательно, применение к таким условиям откачки приведенных формул будет ненадежно; однако и в этом случае их можно или сохранить, или несколько видоизменить, не уменьшая их точности.

Сохранение вида формул будет заключаться в следующем: пусть мы имеем полный колодец (рис. 23), в котором уровень воды снижен откачкой очень значительно, вследствие чего повышенные скорости v вокруг него охватывают некоторую зону, в которой закон Дарси неприменим, т. е. где $v = Ki^m$, за пределами же ее движение грунтовой воды — струйное (по Дарси), т. е. там $v = Ki$. Считая такую зону цилиндрической и концентричной с колодцем можно прежнюю формулу дебета применить лишь к области потока, лежащей дальше за зоной турбулентного движения, а для этого нужно в формулу дебета внести вместо радиуса

1) См. „Движение грунтовых вод под гидротехническими сооружениями“ Е. Захарина.

колодца r радиус зоны, т. е. R_0 и вместо глубины воды в колодце h глубину в конце турбулентной зоны, т. е. h_0 .

Недостатком этого способа является трудность определения границ турбулентной зоны, вследствие невыясненности тех критических скоростей, при которых происходит переход зависимостей скорости от уклона из линейной в степенную.

Кроме того самая схема движения грунтовой воды по предыдущим формулам, выведенных на основании предложений Дюпюи не совсем верна; ряд новых обстоятельств, установленных за последнее время (напр. принцип. проф. Козени) в движении грунтовых вод требуют своего учета при расчете дебета, а по нему и коэффициента фильтрации.

Видоизменение вида формул будет заключаться в эмпирическом учете самого факта степенной зависимости скорости от уклона при больших его величинах. Пусть мы имеем тот же случай движения воды к колодезю, что указан на рис. 23

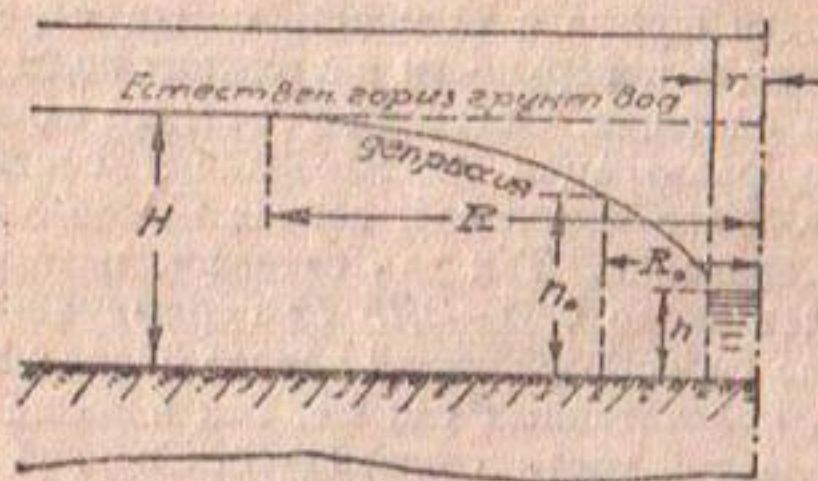


Рис. 23.

Для дебета полного колодца мы имеем уравнение

$$Q = 1,36 K \frac{H^2 - h^2}{\log \frac{R}{r}} = 1,36 K \frac{H + h}{\log \frac{R}{r}} s \dots \dots \dots (58)$$

где понижение $s = H - h$

При $s = 1$ дебет будет равен

$$Q_0 = 1,36 K \frac{H + h}{\log \frac{R}{r}} \dots \dots \dots (59)$$

Называя этот дебет, как отнесенный к единице понижения, удельным дебетом можно написать

$$Q = Q_0 S \dots \dots \dots (60)$$

Величина $\log \frac{R}{r}$ при разных понижениях меняется значительно, поэтому понижение S может служить, до некоторой степени, характеристикой среднего уклона потока $i_{cp} = S : R$.

Так как при больших понижениях скорость, а следовательно и дебет пропорциональны степени m от уклона i , то последнее уравнение видоизменяется в следующее

$$Q = Q_0 S^m \dots \dots \dots (61)$$

где $0,5 < m < 1$.

Данные отачек для двух понижений позволят установить среднее значение показателя m . Последний прием учета турбулентности движения более прост, чем первый и может быть без затруднений применен на практике не только для полных колодцев, но и для колодцев неполных, артезианских и других видов.

Коэффициенты фильтрации, полученные из наблюдений за кратковременной откачкой и основанные в сущности на среднем уклоне потока, не являются достаточно надежными, т. к. средний уклон потока не является исчерпывающей его характеристикой. Так, уклон потока по смоченной поверхности шурфа с течением опыта стремится к единице; уклон потока по внешней поверхности растекания воды с течением опыта может быть меньше единицы. Оставляя уточнение этих приемов определения коэффициентов фильтрации до накопления соответствующего полевого исследовательского материала, сейчас можно лишь указать вероятные пределы его значений. Так для скважин, питающихся через дно верхний предел будет около 0,85—0,75 от первых значений, подсчитанных указанным выше способом; нижний предел будет в 2—2,5 раз больше конечных значений, подсчитанных так же, как и выше (конечные значения берутся у начала той части снижающейся кривой значений коэффициентов фильтрации, где они идут почти параллельно оси абсцисс).

Для скважин, питающихся через дно и стенки, верхний предел коэффициентов фильтрации будет около 0,8—0,9 от первых значений подсчитанных как было указано и нижний в 1,5—2 раза более конечных значений. Для наличных шурфов коэффициент фильтрации будет в пределах от 1,5—2 конечных значений до 0,5—0,4 от средней скорости просачивания, подсчитанной для смоченной поверхности шурфа в конце опыта. Указанные соотношения более или менее достоверны для шурфов диаметром около 0,5 м. и продолжительностью опыта 5—7 часов.

§ 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОРИСТОСТИ.

п. 1. Способы определения пористости грунтов.

Одним из основных элементов характеристики гидрологических и в частности фильтрационных свойств грунтов является пористость (порозность, скважность). Обычно пользуются коэффициентом пористости, под которым понимают отношение объема пор — c к объему породы в ее естественной структуре a , т. е.

$$P = \frac{c}{a} \dots \dots \dots (62)$$

Но, так как

$$a = b + c \dots \dots \dots (63),$$

где b —это об'ем зерен и частиц, слагающих породу, то при определении пористости помимо равенства (62) можно пользоваться и нижеследующими уравнениями:

$$P = \frac{c}{b + c} \dots \dots \dots (64)$$

$$P = \frac{a - b}{a} \dots \dots \dots (65)$$

Если же принять во внимание, что

$$a = \frac{f}{\delta_1} \dots \dots \dots (66)$$

$$b = \frac{f}{\delta} \dots \dots \dots (67) \text{ и}$$

$$c = f \frac{\delta - \delta_1}{\delta \delta_1} \dots \dots \dots (68)$$

где f вес испытуемого образца породы в сухом состоянии, δ_1 кажущийся удельный вес породы, δ удельный вес породы, то вместо равенств (62), (64) и (65) можно применить следующее уравнение:

$$P = 1 - \frac{\delta_1}{\delta} \dots \dots \dots (69)$$

Производство каких именно определений требуется при пользовании тем или другим равенством, видно из нижеследующего:

формула (62) требует определения об'ема пор и об'ема породы:

„ (64) „ „ „ зерен;

„ (65) „ „ „ породы „

„ (69) „ „ веса породы, об'ема породы

и удельного веса породы.

Таким образом дело сводится к нахождению значений для некоторых из пяти исходных величин: a , b , c , f и δ при чем в настоящем случае нет основания обсуждать способы нахождения двух последних.

п. 2 Определение об'ема грунта.

Вопрос решается линейным измерением, если образцу придана какая-либо правильная форма; иначе дело обстоит, если необходимо определять об'ем образца неправильной формы.

Путем распиливания и шлифования образцу может быть придана форма куба или параллелепипеда. При наличии соответствующего оборудования это вполне применимо как к породам изверженным, так и к осадочным, обладающим достаточной степенью цементации. Этот же способ может быть использован в отношении некоторых плотных глин, обладающих большой связностью. Для пород глинистых и суглинистых дело упрощается возможностью взятия образцов с нарушенной структурой и определенного об'ема в поле. С этой целью сконструировано немалое количество приборов, основной частью которых является цилиндр с острым нижним режущим краем, вертикально вдавливаемый в грунт (1, 3, 5—8, 11, 12, 14, 15 и 20). Сравнительная оценка результатов работы приборов различных конструкций пока никем не была предпринята. Можно привести поэтому лишь некоторые общие соображения.

Предпочтение следует отдать приборам, обеспечивающим своими вспомогательными частями, строго вертикальное погружение цилиндра в грунт. Этому требованию, например, отвечает прибор Гиммерлинга—Сабанина (14, стр. 37—41). Невыполнение этого условия вызывает безусловное деформирование образца. Удовлетворительная работа приборов имеет место для глинистых, суглинистых и супесчаных грунтов, обладающих средней влажностью. Излишняя влажность также, как и чрезмерная сухость способствует возникновению деформации. Взятие образцов песков возможно в тех случаях, когда они обладают некоторой связностью. Наличие в грунтах гравия, стяжений или корней растений приводит к получению неудовлетворительных образцов. В случаях сухости глинистых грунтов, возможно их искусственное увлажнение; не следует только забывать о недопустимости излишнего увлажнения. Искусственное увлажнение можно также применять для придания связности рыхлым пескам.

Определение объема образца, имеющего неправильную форму, возможно путем погружения его в мензурку, наполненную водой. Объем вытесненной воды и дает нам объем образца. Цилиндрическая мензурка предпочтительнее перед конической; большая же точность возможна применением волюмометров (объемометров). Последние представляют приборы, различной конструкции; существенными частями их являются сосуд, в который помещается испытуемый образец, и бюретка, из которой приливается вода. В иных случаях прибор имеет отъемную крышку с узким градуированным горлышком (10, стр. 8—10). Следует, однако, оговориться—определение объема образца по объему вытесненной воды возможно лишь для пород, медленно поглощающих воду. Таким образом, этот способ непременно для рыхлых и крупнозернистых пород. При погружении, например, куска лесса в воду происходит бурное выделение воздуха, содержащегося в породе, не только после погружения, но и в течение самого погружения, как бы быстро оно ни производилось. Недобства эти можно устранить, покрыв образец породы каким либо веществом, не пропускающим воду (10, 19 и 21). Обычно в этих целях применяется парафин, что было предложено впервые, повидимому, Тетмайером (10, стр. 8). Объем испытуемого образца определяется в таких случаях по равенству

$$a = A - \frac{F - f}{\delta_p} \dots \dots \dots (70),$$

где A —объем запарафинированного образца,
 F —вес запарафинированного образца и
 δ_p —удельный вес парафина.

При желании получить точные результаты можно определить объем не только волюмометром, но и взвешиванием запарафинированного образца в воде; и тогда уравнение (70) примет нижеследующий вид:

$$a = F - F_1 - \frac{F - f}{\delta_p} \dots \dots \dots (71)$$

при чем F_1 —это разность между весом запарафинированного образца и весом вытесняемой им воды.

Для рыхлых пород в лабораторных условиях применим лишь один способ—насыпание породы в градуированный сосуд. Насыпание, обычно рекомендуется производить небольшими порциями, уплотняя породу постукиванием дна сосуда по мягкой поверхности. Не следует забывать, что полученные этим путем величины могут быть лишь весьма условно отнесены к грунтам в их естественном состоянии. В полевых условиях величина a может быть установлена определением объема выемки, из которой извлечен грунт; при этом последний целиком должен быть сохранен для последующих определений. Этот способ, очевидно, является единственным выходом при желании определить пористость крупнообломочных пород в их естественной структуре. Можно было бы рекомендовать для рыхлых пород применение искусственной их цементации, однако, в этом случае необходимо выработать методику, так как неизвестно, чтобы этот способ был кем-либо использован.

п. 3. Определение объема зерен и частиц.

Методика установления объема зерен и частиц, слагающих образец, более проста. Величина b определяется по объему воды, вытесненной погружаемой в нее породой, после выделения всего воздуха, содержащегося в породе.

Пользоваться можно как мензуркой, так и волюмометром; в последнем случае достигается, как это отмечалось, большая точность. Крупнообломочный материал насыпается в ведро или бак, емкость которого известна; затем мензуркой или мерной кружкой приливается вода.

Следует, однако, отметить, что при погружении пелитовых пород в ведро, возникают некоторые затруднения с удалением всего воздуха, заключавшегося в породе. Размешивание породы стеклянной палочкой в этих случаях помогает мало. Выходом является применение теплой или горячей воды; вполне точные результаты можно получить, используя пикнометрический метод, существующий для определения удельного веса. При применении формулы (69), так это и делается.

п. 4. Определение объема пор.

Непосредственное определение объема пор представляет наибольшее затруднение. Для определения пористости фарфора, Замятченским предложен своеобразный метод, основанный на заполнении пор, обнаженных полированной поверхностью, красящим веществом и последующим изучением пор под микроскопом (9). При исследовании свойств керамических изделий и шамотных масс с успехом применяются методы поглощения испытуемой пробой воды или иных жидкостей и газов (4, 10, 13, 17 и 18).

В общих руководствах рекомендуется обычно приливание воды в породу, насыпанную в мензурку (16, стр. 111). Во-первых, в этом случае порода не сохраняет естественной структуры, во-вторых, попытки насытить породу этим путем убеждают в невыполнимости этого. При приливании воды не только в глинистые породы, но и в пески происходит быстрое смачивание верхней части столба породы, тогда как в средней и нижней части задерживается весьма большое количество воздуха. Попытки насыщать столб песка снизу, приводят лишь к несколько лучшим

результатам; и в этом случае капиллярный под'ем, происходящий неравномерно, приводит к зажиманию значительного количества воздуха. Это соображение указывает на нежелательность непосредственного определения объема пор и для образцов с ненарушенной структурой, получаемых тем или другим прибором. Кейльгаком был предложен для лессовых пород метод насыщения при помощи бюретки (16, стр. 112), однако, как показывает опыт, и этот способ страдает своими недостатками (21, стр. 99).

Из изложенного ясно, что при определении пористости рыхлых обломочных образований следует исходить из величин a и b . При чем для пород глинистых или глинисто-песчаных всего целесообразней пользоваться формулой (69), определяя δ_1 или беря образцы в естественной структуре специальными приборами или пользуясь методом Тетмайера. δ определяется обычным путем или, если не требуется особая точность, способом, предложенным Андриановым (2). Для пород крупнообломочных можно рекомендовать лишь полевое определение, основанное на измерениях выемки и установлении величины b помощью ведра или бака.

Что же касается рыхлых песков, не поддающихся взятию образца определенного объема, даже при очень осторожной работе, то в этом случае возможны лишь попытки установления методов.

п. 5. Примеры определения порозности грунтов.

1-й пример. Определение порозности парафинированием образца грунта. Имеем вес сухого образца $f = 203,60$ г, вес запарафинированного образца $F = 211,20$ г, удельный вес парафина $\delta_p = 0,87$, удельный вес частиц грунта $\delta = 2,60$.

Погружая запарафинированный образец грунта в воду и замечая вытесненный им объем воды находим его объем равным $A = 138,0$ куб. см.

Зная вес использованного парафина $f_p = F - f = 7,60$ г, находим его объем $a_p = f_p : \delta_p = 8,74$ куб. см.

Отсюда получаем объем, образца грунта $a = A - a_p = 129,26$ куб. см, что дает возможность подсчитать кажущийся удельный вес сухого грунта $\delta_1 = f : a = 1,58$.

Порозность грунта будет равна

$$P = 1 - \frac{\delta_1}{\delta} = 0,39$$

2-й пример¹. Определение порозности грунта, образцу которого придана правильная форма. Имеем образец грунта в форме параллелепипеда $12 \times 12 \times 15$ см; его вес оказался 3,5 кг; высушив образец и вторично взвешивая его, нашли его вес равным 3,14 кг; таким образом влажность грунта была $m = (3,5 - 3,14) : 3,14 = 11,5\%$. Находим кажущийся уд. вес сухого грунта по отношению его сухого веса к объему $a = 1,2 \times 1,2 \times 1,5 = 2,16$ л; $\delta_1 = 3,14 : 2,16 = 1,45$. При удельном весе частиц грунта $\delta = 2,6$ порозность его будет равна

$$P = 1 - \frac{\delta_1}{\delta} = 0,44$$

3-й пример. Если в предыдущем примере образец грунта вырезается прибором, подобным прибору Копецкого, то необходимо учесть уплотнение образца при его взятии.

¹ Примеры 2, 3, 4 составлены Е. Замариным.

Например—если высота столба грунта взятого прибором была 116 мм, а глубина выемки откуда был взят грунт равным 120 мм, то уплотнение грунта равно $(120-116):120=3,3\%$. Далее пусть кажущийся удельный вес сухого грунта, взятого из прибора, оказался равным 1,50, но т. к. грунт был уплотнен, то внося поправку на уплотнение получим

$$\delta_1 = 1,5 \times (1 - 0,033) = 1,45 \text{ и порозность } P = 1 - \frac{\delta_1}{\delta} = 0,44, \text{ при } \delta = 2,6.$$

4-й пример. Для сыпучих грунтов как песчаные, гравелистые, галечниковые, нельзя взять образцы грунта, не разрушая структуру его. В таких случаях поступают так: на месте взятия образца планируют небольшую площадку (1—2 кв. м) прокладывают и закрепляют на ней две горизонтальные параллельные рейки (по уровню); на рейках наносят метки через равные интервалы 10—20 см (рис. 24). Далее осторожно совком или руками делают между рейками выемку по возможности какой-либо правильной формы (чашеобразную) и вынутый грунт рассыпают на листах (фанеры, железа, брезента и т. п.) тонким слоем и просушивают на солнце, после чего его собирают и взвешивают. Объем выемки замеряют, для чего, устанавливая на парных метках реек линейку, промеряют от нее глубины выемки и расстояния между промеряемыми точками.

По результатам промеров подсчитывают площади поперечников, а по ним объем; зная объем грунта и его вес (сухой) находят кажущийся удельный вес и, по предыдущему, порозность. Для грунтов, имеющих крупные включения (камни, крупные гальки и т. п.), необходимо определять порозность общую—для всего грунта, принимая во внимание и включение,—и порозность собственно проводящего грунта, без крупных включений. Во всех и теоретических и практических предложениях о

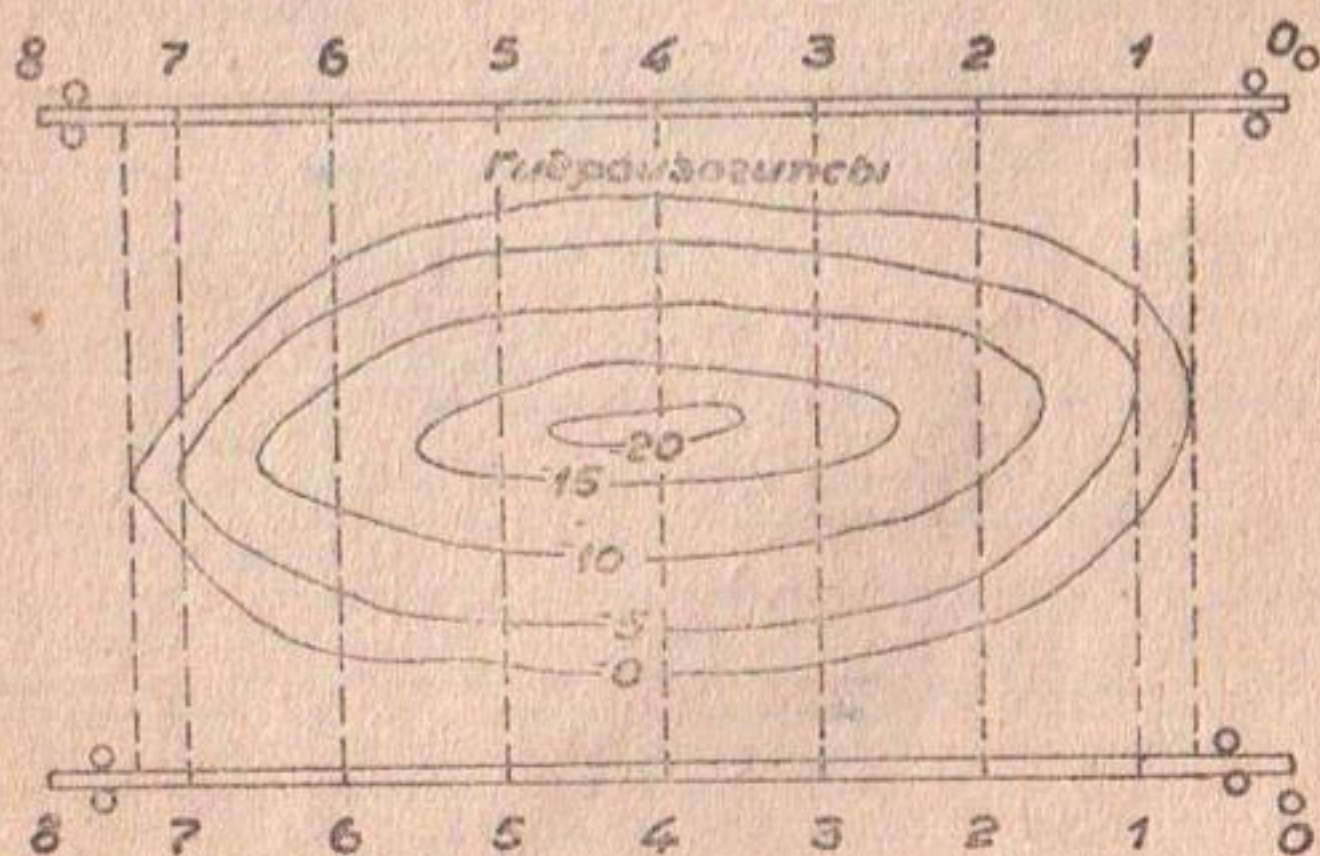


Рис. 24.

движении грунтовых вод рассматривается только самый водопроницающий

сравнительно однородный грунт; всякие включения в него в виде камней и т. п., резко отличающиеся по своим размерам от средних размеров частиц водоносного грунта, как плотные и непроницаемые для воды области—не принимают активного участия в движении воды, поэтому и не должны приниматься во внимание при определении коэф. фильтрации водоноса. Они, эти включения, создают дополнительные сопротивления обтеканию вокруг них воды, что должно учитываться теорией движения грунтовых вод. В качестве иллюстрации к сказанному рассмотрим следующие данные по обмеру описанной выше выемки; пусть мы имеем об'ем выемки равный 84,5 л; общий вес вынутого и просушенного песчано-гравелистого грунта 172,5 кг (вместе с крупной галькой); тогда кажущийся удельный вес такого грунта будет $\delta_1 = 172,5 : 84,5 = 2,04$ и порозность при удельном весе материала грунта $\delta = 2,65$ будет

$$P = 1 - \frac{2,04}{2,65} = 0,23$$

Отберем теперь отдельно крупные гальки, взвесим их—73 кг и путем погружения в воду найдем их об'ем 27,5 л, следовательно об'ем только водоносного грунта будет $84,5 - 27,5 = 57$ л, его вес $172,5 - 73 = 99,5$ кг и его кажущийся уд. вес $\delta_2 = 99,5 : 57 = 1,75$, откуда находим порозность его $P_2 = 1 - 1,75 : 2,65 = 0,34$.

Эту порозность и надлежит учитывать при определении коэффициента фильтрации.



Литература.

1. Андрианов, П. Бур для получения проб почвы с ненарушенным строением и определенного объема. Научно - Агр. Журнал, 1925, № 3.
2. Андрианова, П. И. К методике пикнометрического определения влажности и скважности почвы. Научно - Агр. Журнал 1925, № 9.
3. Бурмачевский, Н. Прибор для определения порозности и влажности. Материал по изучению русских почв, в. 4. СПб. 1888.
4. Воинов, В. и Сазанов, В. Истинный и кажущийся удельный вес и пористость. Тр. Гос. Иссл. Керамич. Инст., в. 16, 1929.
5. Дорогов, А. I. Прибор для определения капиллярности, влагоемкости и сети почвы. II. Прибор для выемки почвенных монолитов. Библ. Почвовед. 1928 № 2.
6. Дояренко, А. Г., проф. К изучению структуры почвы, как соотношения некапиллярной и капиллярной скважности и ее значения в плодородии почвы. Научн. - Агр. Журнал, 1924, № 7-8.
7. Желиговский, В. А. Почвенный бур для взятия пробы почвы с ненарушенным строением. Научно - Агр. Журнал, 1925, № 3.
8. Зауэрбрей, И. И. Обзор современных германских работ по установлению связи между водными свойствами и механическим составом почво-грунтов. Л. 1926 (приведено описание прибора Копецкого для взятия проб грунтов в ненарушенном состоянии).
9. Земятченский, П. А. Высоковольтные фарфоровые изоляторы, микроструктура и пористость. Материал для изучения производит. сил России, № 46, 1924.
10. Зильберманц, В. А. и Крестовников, В. Н. К вопросу о методике определения пористости горных пород. Тр. Гос. Научно - Иссл. Нефтян. Инст., в. 2, 1928.
11. Измайльский, А. А. Влажность почвы и грунтовая вода. Полтава. 1894. (Приводится описание прибора для взятия образцов грунтов, сконструировано автором).
12. Из работ Голодностепской опытно-оростительной станции Института Водного Хозяйства. Вести. Ирриг. 1927 № 12. (Описание бура Петрова).
13. Исаков, А. Указатель иностранной литературы (по шамотным массам). Тр. Гос. Иссл. Керамич. инст. в. 16, 1929.
14. Качинский, Н. А. О влажности почвы и методах ее изучения. Изд. 3-е. М.—Л. 1930. (Дается описание прибора Гиммерлинга—Сабанина).
15. Качинский, Н. О почвенных бурах для взятия образцов с ненарушенной структурой. Почвоведение, 1926, № 4.
16. Кейльгак, К. проф. Подземные воды и источники. СПб. 1914.
17. Келер, К. и Зубчанинов, В. Водопоглощаемость и кажущаяся пористость. Тр. Гос. Иссл. Керамич. Инст., в. 16, 1929.
18. Келер, Э. К вопросу об определении пористости керамических черепков методом водопоглощения. Тр. Гос. Иссл. Керамич. Инст., в. 18, 1929.
19. Крестовников, В. Н. Пористость и механический состав песчаников и песков Грозненского нефтяного района. Нефтяное хозяйство, 1929, XVIII, № 9.
20. Петров, Е. Г. Описание конструкции бура для взятия почвенных образцов с ненарушенной структурой. Научн. - Агр. Журн. 1929, № 3.
21. Решеткин, М. М. К вопросу о способах определения пористости лессовых грунтов. Вести. Ирриг. 1929, № 11.
22. Решеткин М. "Отчет по гидрогеологическим исследованиям в районе Нового Джума", 1929 г. (библиотека ОИИВХ рукопись).
23. Архангельский Г. "Гидрогеологические работы на р. Чирчике в районе 1 берржа", 1928 г. Вести. Ирриг. № 3.

24. Архангельский Г. „Отчет по гидрогеологическим работам в старом Ташкенте“, 1929 г. (библиотека ОИИВХ рукопись).
25. Замарин, Е. „Расчет движения грунтовых вод“. Труды Оп.-Иссл. Ин-та Вод. Хоз. Ташкент 1928 г.
26. Архангельский Г. „Отчет по гидрологическим исследованиям под Сайско-водохранилище 1928 г. (библиотека ОИИВХ рукопись).
27. Замарин, Е. „Движение грунтовых вод под гидротехническими сооружениями“. Труды ОИИВХ, Ташкент 1931.
28. Замарин, Е. „Водопроницаемость десса“, 1929 г. Вести. Ирригац. № 12.
29. „Итоги работ Оп. Иссл. Ин-та Водн. Хоз-ва (рукопись).
30. Козени, И. „О движении грунтовой воды“.
31. Проф. Крюгер. „Движение грунтовых вод“, 1918 г. (перевод с немецкого, рукопись ОИИВХ).
32. Слиттер Ч. „Подземные воды“, 1912 г. перевод Стопниевича.
33. Forchheimer Ph „Hydraulik“, 1924.
34. „Гидрогеологические исследования для проектируемых гидроэлектростанций в Закавказье“, труды Гос. Ин-та Соор. в 2. 1930 г.
35. Dupuit „Etudes theoriques et pratiques sur le mouvement des eaux“, 1863.
36. Schultze J. „Die grundwasserabsenkung in Theorie und Praxis“, 1924.

10384

О Г Л А В Л Е Н И Е

Стр.

Предисловие	3
-----------------------	---

§ 1. Основные законы движения грунтовых вод

1. Закон Дарси	5
2. Степенные зависимости	6
3. Коэффициент фильтрации	7
4. Температурный коэффициент	8
5. Полевые исследования	12

§ 2. Полевые определения скорости грунтовой воды индикаторами

1. Общее	13
2. Определение направления движения грунтовой воды	14
3. Закладка наблюдательных пунктов	16
4. Типы и выбор индикаторов	17
5. Производство опыта	19
6. Обработка опытов	23

§ 3. Полевые определения коэффициента фильтрации откачкой

1. Цели откачки из шурфа	25
2. Откачка из полного колодца	26
3. Откачка из неполного колодца	34
4. Откачка из колодца, питающегося через дно	36
5. Откачка из напорных колодцев	38
6. Откачка из двух пластов грунта	39
7. Приемы кратковременных откачек	40
8. Набивные шурфы	44
9. Поглощающие колодцы	49
10. Применимость формул откачек	50

§ 4. Определение порозности

1. Способы определения порозности грунтов	52
2. Определение объема грунта	53
3. Определение объема зерен и частиц	55
4. Определение объема пор грунта	55
5. Примеры	56
Литература	59