

методы исследования и опробования
жидких полезных ископаемых

гидрогеология
и инженерная геология

ф. п. саваренский

производство опытных откачек



НКТП
государственное
геолого-разведочное
издательство
ленинград ♦ москва

1932

Производство опытных откачек.

Для определения производительности эксплуатационной скважины применяются так называемые пробные откачки. Они заключаются в том, что из скважины, оборудованной временным или постоянным насосом, производится длительная, по возможности непрерывная, откачка с понижением уровня воды в скважине до определенной глубины и с параллельным замером количества выкачиваемой воды (расхода). Пробная откачка имеет целью выяснить производительность скважины, поступающей в эксплуатацию. Чем длительнее будет откачка, тем ближе можно подойти к величине дебита будущего колодца.

По откачке с понижением уровня на S_1 м. от первоначального можно судить о производительности колодца для понижения на S_2 м.

Для грунтового колодца эта зависимость получается из следующих соотношений:

$$q_1 = k \frac{\pi S_1 (2H - S_1)}{\ln \frac{R_1}{r}} \dots \dots \dots (1)$$

$$q_2 = k \frac{\pi S_2 (2H - S_2)}{\ln \frac{R_2}{r}} \dots \dots \dots (2)$$

где q_1 —дебит колодца при понижении уровня на S_1 м. от первоначальной поверхности; q_2 —дебит того же колодца при понижении уровня на S_2 м.; H —мощность питающего колодец водоносного слоя; R_1 и R_2 —радиусы влияния откачки на понижение уровня грунтовой воды; r —радиус колодца; $\pi = 3,14$; \ln —натуральный логарифм.

Так как дебит мало изменяется от изменения R , то можно принять:

$$\frac{q_1}{q_2} = \frac{S_1 (2H - S_1)}{S_2 (2H - S_2)} \dots \dots \dots (3)$$

откуда

$$q_2 = \frac{q_1 S_2 (2H - S_2)}{S_1 (2H - S_1)} \dots \dots \dots (4)$$

Пример. При мощности водоносного слоя $H = 6,5$ м. колодец дает при понижении уровня на 1 м. количество воды, равное 750 куб. м. в сутки. Найти расход колодца при понижении на 2,5 м.

$$q = \frac{750 \cdot 2,5 (2 \cdot 6,5 - 2,5)}{(2 \cdot 6,5 - 1)} = 1640,6 \text{ куб. м.}$$

или с осторожностью надо принять примерно = 1600 куб. м.

Для артезианского колодца зависимость между глубиной понижения напора и дебитом выражается следующим образом:

$$\frac{q_1}{q_2} = \frac{S_1}{S_2} \dots \dots \dots (5)$$

т.е. можно допустить пропорциональную зависимость между величиной понижения напора и дебитом.

Примечание 1. Если в районе расположения испытуемого колодца (скважины) имеются еще другие колодцы (скважины) в недалеком расстоянии от него, то следует поставить наблюдения над уровнем воды в них для того, чтобы выяснить радиус влияния откачки. Если при этом известны высота уровня воды и мощность водоносного слоя, то можно воспользоваться этим колодцем для определения коэффициента фильтрации по указанным ниже способам.

Примечание 2. При пробных откачках надо иметь в виду, что производительность водоносного слоя зависит от условий питания его, а потому производительность колодца по откачке в одном году может оказаться иной, чем в другом году. Под опытными откачками подразумевают откачки из специально заложённых нескольких колодцев или буровых скважин для наиболее полного выяснения водопроницаемости, скоростей подземного потока, размера и характера депрессионной поверхности и производительности водоносного слоя.

Направление подземного потока определяется по трем точкам (колодцам, скважинам), связанным между собой нивелированной (*A, B, C* на рис. 1). Для нахождения направления потока соединяют на плане прямой точки наиболее высокого (*A*) и наиболее низкого (*B*) стояния уровня воды. Эту прямую подразделяют на части, соответствующие разнице уровней двух точек, находят отметку (*D*), соответствующую отметке уровня воды в третьей скважине *C*. Линия *DC* будет линией одинакового уровня (гидроизогипсой). Перпендикуляр, восстановленный из этой линии, будет обозначать направление подземного потока (*PL*).

Примечание. Определение направления потока по трем точкам для грунтовых вод бывает иногда недостаточно и может повести к неверным выводам. Такие случаи бывают: 1) в районах с близким к поверхности стоянием уровня грунтовых вод, например в дюнном рельефе и в низменных степях, 2) когда местность пересечена рядом дренирующих балок и оврагов и 3) в районах сложного состава пород, например в условиях моренного ландшафта. В таких случаях направление потока выясняется на основании достаточного количества точек, по которым составляется карта скатерти грунтовых вод в гидроизогипсах.

Выбор и разбивка опытного участка производится после того, как условия залегания подземных вод, а также характер их и направление потока достаточно выяснились. Участок выбирается в наиболее типичных условиях. Кроме того, надо предусмотреть ряд практических обстоятельств: удобства отвода и сброса откачиваемых вод, удобства подвоза воды—в обратном случае, замены откачки нагнета-

нием и т. п. На окончательно выбранном участке закладывается центральная буровая скважина или шурф, из которого должна производиться откачка, и несколько так называемых контрольных скважин или шурфов. Контрольные скважины (шурфы) располагаются лучами от центральной, в количестве четырех и минимум одного луча. В случае грунтового бассейна направление лучей безразлично. В случае потока лучи располагаются по линиям параллельной и перпендикулярной к направлению потока. При малом количестве контрольных скважин можно ограничиться одним направлением, нормальным к потоку, и даже одним лучом. Понятно, что при неоднородности водоносной породы результаты будут случайны при одном луче и малом количестве скважин.

Расстояния контрольных скважин от центральной устанавливаются в зависимости от характера водоносной породы. Контрольные сква-

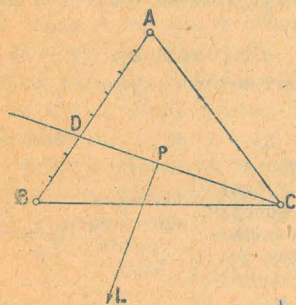


Рис. 1. Расположение разведочных скважин для определения направления потока грунтовых вод.

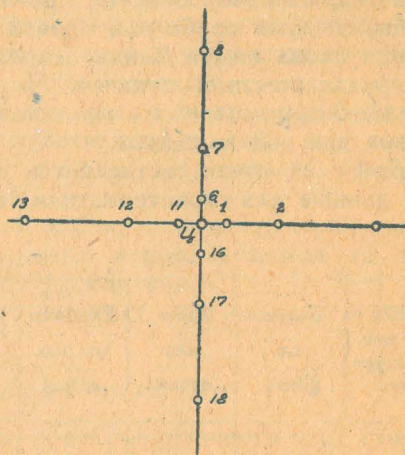


Рис. 2. Расположение скважин на опытной площадке.

жины по лучу закладываются в расстояниях, увеличивающихся от центральной, например в 2, 6, 14, 30 м., или 5, 15, 50, 100 м. (рис. 2). В случае ограниченного числа скважин, например 2 (по одному лучу), закладывают одну в 2—5 м. и другую в 10—25 м. от центра. Центральная скважина должна быть оборудована обсадными трубами такого диаметра, который давал бы возможность установки насоса желательного типа и необходимой мощности. На протяжении водоносного слоя труба просверливается $1/2$ -дюймовыми отверстиями в шахматном порядке, например через 5 см. по длине трубы и через 5 см. между рядами. В случае легко вымываемого грунта перфорированная труба снабжается припаянной фильтровальной сеткой.

Контрольные скважины могут не снабжаться фильтрами, если грунт достаточно устойчивый, и оборудуются лишь сверленными трубами. Желательно все трубы довести до водоупорного ложа или же до одного определенного уровня. В случае затруднений, в условиях грунтовых вод, для более удаленных точек можно ограничиться более

мелкими скважинами, вскрывающими лишь верхнюю часть водоносного слоя. В некоторых случаях для исследований грунтовых вод можно воспользоваться шурфами. Центральный шурф должен быть оборудован креплением; при креплении досками они должны быть снабжены достаточно большим количеством отверстий. Если грунт обладает способностью заплывать и закупоривать отверстия в досках или же обваливаться при откачке, за стенками сруба или крепи приходится опускать сруб несколько меньшего сечения, а зазоры между стенками сруба и породой заполнять битым камнем, гравием и т. п. Рекомендуют также устанавливать за наружной стенкой сруба трубу для замера уровня воды.

Все скважины или шурфы должны быть пронумерованы и занивелированы. С самого начала работ устанавливают наблюдения над уровнем воды в скважинах. Запись ведется в особой книжке, где указывается, от какой отметки производится замер уровня воды: от края трубы, от края сруба или особой метки и т. п.

Вся схема опыта, занивелированная и замеренная, зарисовывается в журнале опытной откачки. По направлениям лучей составляются геологические разрезы с показанием уровня грунтовых вод или линии напора для вод напорных.

Для всех точек составляется ведомость, включающая все основные данные для характеристики отдельных точек, примерно по табл. I.

Табл. I.

№№ бур. скв. или шурфов	Расст. от центр.	Диам. или сечен.	Глубина от пов. земли	Отметка дна	Глубина от поверхн. до первонач. ур. воды	Отметка первонач. уровня воды	Примечания

Выбор насоса, двигателя к нему, установка насоса и т. д. зависят от мощности потока, глубины откачки, устройства колодца и т. п. Главнейшие сведения по этим данным см. в „Инструкции по определению дебита скважин“.

Для копанных колодцев применим поршневый насос, приводимый в действие трактором, например Фордзон, что сравнительно легко осуществить в большинстве сельскохозяйственных районов; при большом дебите применяют центробежные насосы. В некоторых случаях можно ограничиться ручным насосом.

Учет откачиваемой воды производится приблизительно по числу движений поршня в единицу времени работы насоса, но лучше по непосредственному периодическому замеру воды в отводе.

Замер воды для малых расходов может производиться по наполнению сосуда определенного объема, например бочки, для более значительных же расходов одним из гидрометрических способов.

Необходимо озаботиться отводом откачиваемой воды. При длительной откачке из грунтового колодца при близком стоянии грунтовых вод и проницаемой почве возможна обратная инфильтрация воды, если выливать воду непосредственно на землю в недалеком расстоянии от места опыта. Для отвода может служить канава, если почва достаточно глиниста, или лоток, сколоченный из 2 или 3 досок (а при больших расходах болеее), отводящий воду в какое-либо естественное понижение. В этом же лотке можно устроить и замер расхода воды одним из способов, указанных в „Инструкции по определению дебита источников“.

Длительность откачки зависит от ряда обстоятельств. Как правило, более длительная откачка вообще должна давать более надежные результаты. Но так как продолжительные откачки не всегда возможны, приходится ограничиваться известным сроком. Если наблюдения за уровнем воды в контрольных скважинах не обнаруживают дальнейшего понижения, и кривая депрессии при откачке приобретает постоянный характер, в чем убеждаются при постоянстве уровня в течение не менее 6 часов непрерывной откачки, то срок можно считать достаточным. Практически откачки в течение 1—2 дней и 1—2 недель не дают обыкновенно существенной разницы, если только откачка сверх притока грунтового потока не затрагивает „мертвых“ запасов грунтового бассейна.

По прекращении опыта с откачкой наблюдения по центральным и контрольным точкам еще не прекращаются и продолжают до полного восстановления первоначального уровня воды.

Данные, полученные в результате опытных откачек, затем поступают в обработку.

Обработка данных откачек.

При вычислении коэффициентов водопроницаемости по данным откачек обыкновенно пользуются двумя формулами: Дюпюи и Смрекера.

Формула Дюпюи, выведенная позднее также Тимом, построена на принципе Дарси—пропорциональности скорости и дебита уклону в первой степени

$$v = ki; \quad q = kFi \dots \dots \dots (6)$$

Формула Смрекера построена на том соображении, что движение подземного потока подчиняется частично принципу Шези, т.е. пропорционально уклону в степени $1/2$:

$$v = c \sqrt{Ri}; \quad q = cF \sqrt{Ri} \dots \dots \dots (7)$$

или соответственно:

$$v = ki^{1/2}; \quad q = kFi^{1/2} \dots \dots \dots (8)$$

Поэтому Смрекером принимается формула:

$$v = \sqrt{\frac{m}{c} i}; \quad q = F \sqrt{\frac{m}{c} i} \dots \dots \dots (9)$$

где C — коэффициент, m — показатель, лежащий в пределах от 1 до 2.

Первая из указанных формул (Дюпюи) более удовлетворяет движению в тонкозернистых породах, вторая, Смрекера, в крупнообломочных и трещиноватых.

Вычисление по формуле Дюпюи для грунтовых вод.

Общий вид формулы Дюпюи для буровой скважины или для круглого колодца (рис. 3)

$$q = k \frac{\pi (H^2 - h^2)}{\ln \frac{R}{r}} = k \frac{\pi (H+h)(H-h)}{\ln R - \ln r} \dots \dots \dots (10)$$

откуда

$$k = \frac{q (\ln R - \ln r)}{\pi (H^2 - h^2)} = \frac{q (\ln R - \ln r)}{\pi (H+h)(H-h)} \dots \dots \dots (11)$$

где q — установленный откачкой дебит колодца, k — коэффициент фильтрации, H — высота воды в водоносном слое, h — то же от по-

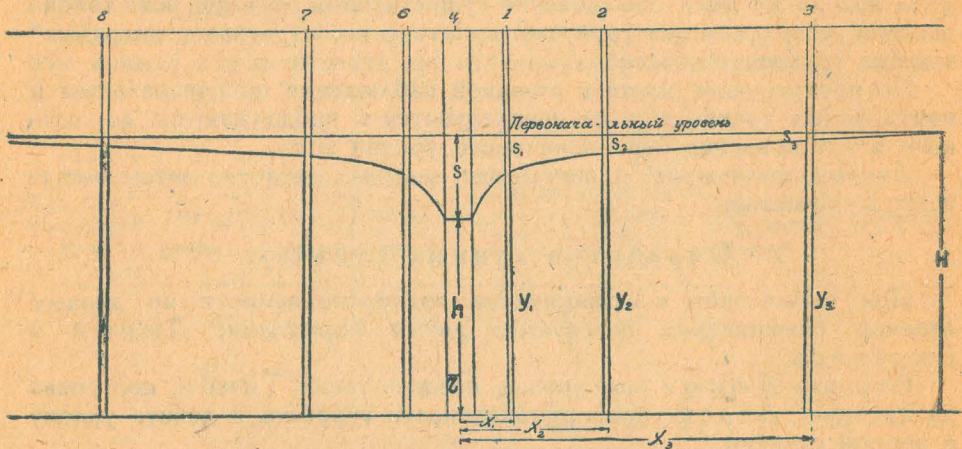


Рис. 3. Вертикальный разрез по линии скважин.

верхности воды в центральном шурфе при откачке, R — радиус действия откачки, r — радиус скважины или колодца.

В этой формуле \ln логарифм натуральный. Для перевода обыкновенного логарифма в натуральный надо ввести множитель 2,3. Для удобства вычислений этот множитель и величина π могут быть пересчитаны в один общий множитель, а именно:

$$q = 1,37 k \frac{(H+h)(H-h)}{\lg R - \lg r} \dots \dots \dots (10 \text{ bis})$$

$$k = 0,73 q \frac{\lg R - \lg r}{(H+h)(H-h)} \dots \dots \dots (11 \text{ bis})$$

Если центральный колодец имеет не круглую, а квадратную форму, то за радиус его можно взять радиус равновеликого по периметру

сечения круга, т.-е. $0,636a$, где a — сторона квадратного сечения колодца.

Радиус влияния откачки, т.-е. депрессионной воронки (R), входящий в формулу (10), определяется по контрольным скважинам. Точное определение его бывает иногда затруднительно и потребовало бы много контрольных скважин на разных расстояниях от центральной. Практически же точного определения и не требуется, так как величина радиуса входит в формулу под логарифмом и следовательно изменяется сравнительно мало. Если, например, в контрольной скважине на расстоянии 100 м. от центральной наблюдалось понижение уровня при откачке на 5 см., а в скважине в 200 м. понижения уже не замечалось, то, очевидно, $100 < R < 200$, и R можно принять равным 150 м.

Радиус можно определить другим способом по части кривой депрессии, воспользовавшись уравнением кривой общего вида: $a + by + cy^2 = x$, которое решается путем подстановки последовательных значений y и x из соответствующего чертежа в систему трех или более уравнений¹⁾.

При наличии нескольких контрольных скважин можно обойтись без определения радиуса депрессии, так как формула Дюпюи может быть приложена к любым двум контрольным точкам (скважинам) и тогда принимает следующий вид:

$$q = k \frac{\pi (y^2 - h^2)}{\ln \frac{x}{r}} \dots \dots \dots (12)$$

откуда

$$k = 0,73 q \frac{\lg \frac{x}{r}}{y^2 - h^2} \dots \dots \dots (13)$$

где q — попрежнему дебит центрального колодца, y — ордината депрессионной поверхности в контрольной скважине, h — то же в центральной

¹⁾ Способ вычисления по нескольким (n) точкам кривой депрессий:

$$\begin{array}{l} a + by_1 + cy_1^2 = x_1 \qquad \qquad \qquad na + b \sum_1^n y + c \sum_1^n y^2 = \sum_1^n x \\ a + by_2 + cy_2^2 = x_2 \qquad \qquad \qquad a \sum_1^n y + b \sum_1^n y^2 + c \sum_1^n y^3 = \sum_1^n xy \\ a + by_3 + cy_3^2 = x_3 \qquad \qquad \qquad a \sum_1^n y^2 + b \sum_1^n y^3 + c \sum_1^n y^4 = \sum_1^n xy^2 \\ \dots \dots \dots \\ \dots \dots \dots \\ na + b \sum_1^n y + c \sum_1^n y^2 = \sum_1^n x \end{array}$$

$$\begin{array}{l} Ab + Bc = C \\ A_1b + B_1c = C_1 \\ C = \frac{AC - AC_1}{A_1B - AB} \text{ и т. д.} \end{array}$$

Таким образом находятся коэффициенты a, b, c .
 Далее, подставляя их в первоначальное уравнение $a + by + cy^2 = x$ и заменив y величиной мощности водоносного слоя, находим x , т.-е. R .

скважине, x — расстояние контрольной скважины от центра, r — радиус колодца и k — коэффициент фильтрации (рис. 3).

Если при опыте было несколько контрольных скважин, то следует, предварительно вычертив депрессионную кривую, критически просмотреть данные замеров по всем скважинам. Иногда бывают случаи, что скважина засоряется, и уровень воды в ней не отвечает кривой, построенной по остальным точкам. Такие сомнительные точки выключаются из обработки. Затем можно составить уравнения для каждой контрольной скважины с центральной и, вычислив коэффициенты для каждой пары, взять затем среднее значение этого коэффициента:

$$k_{III} = 0,73 q \frac{\lg \frac{x_{III}}{r}}{y_{III}^2 - h^2}$$

$$k_{II} = 0,73 q \frac{\lg \frac{x_{II}}{r}}{y_{II}^2 - h^2}$$

$$k_I = 0,73 q \frac{\lg \frac{x_I}{r}}{y_I^2 - h^2}$$

откуда

$$k = \frac{k_I + k_{II} + k_{III}}{3} \dots \dots \dots (14)$$

Для того чтобы упростить вычисления, можно воспользоваться производной пропорцией:

$$k = \frac{0,73 q (\lg x_1 + \lg x_2 + \lg x_3 + \dots + \lg x_n - n \lg h)}{y_1^2 + y_2^2 + y_3^2 + \dots + y_n^2 - nh^2} \dots \dots (15)$$

или

$$k = 0,73 q \frac{\sum \lg x - n \lg h}{\sum y^2 - nh^2} \dots \dots \dots (15 \text{ bis})$$

В некоторых случаях полезно исключить из вычислений центральный шурф или скважину, что бывает необходимо, например, при ненадежности замеров уровня в центральной скважине, занятой насосом, а также при подпоре, который создается трубой и фильтром в скважине или стенкой крепления колодца. Тогда вычисления проводят между любой парой контрольных скважин, например 1 и 2, 2 и 3, 3 и 4 и т. д. или 1 и 2, 1 и 3, 1 и 4 и т. д., а в общем виде уравнение для вычисления k примет вид:

$$k = \frac{0,73 q [\lg x_2 + \lg x_3 + \dots + \lg x_n - (n-1) \lg x_1]}{y_2^2 + y_3^2 + y_4^2 + \dots + y_n^2 - (n-1) y_1^2} \dots \dots \dots (16)$$

или

$$k = \frac{0,73 q \left[\sum_2^n \lg x - (n-1) \lg x_1 \right]}{\sum_2^n y^2 - (n-1) y_1^2} \dots \dots \dots (16 \text{ bis})$$

Для удобства обработки данных опытных откачек полезно свести все данные в определенные формы как показано на табл. II.

Обработку полученных результатов лучше вести по каждому лучу отдельно. Тогда может выясниться различная водопропускная способность породы по разным направлениям, зависящая от неоднородности ее состава и некоторых других причин.

Пример. Откачка произведена из центрального копаного колодца. По одному из лучей имеется 5 контрольных скважин. При понижении уровня на 4 м. дебит равняется 0,012 куб. м.

Табл. II.

№ скважин	Расстояние от центр. скв. x	$\lg x$	Отм. ур. воды до отк. (м.)	Отм. ур. воды при отк. (м.)	Отм. дна центр. кол. (м.)	Понижение уровня (м.)	Высота слоя воды (м.) u .	u^2	Примечания
Центр.	—	—	131	127	120	4,0	7,0	49	Радиус $\frac{1}{2}$ м.
1	2	0,30103	—	128,6	—	2,4	8,6	74	
2	6	0,77815	—	129,4	—	1,6	9,4	88	
3	12	1,07918	—	129,8	—	1,2	9,8	96	
4	20	1,30103	—	130,0	—	1,0	10,0	100	
5	30	1,47712	—	130,2	—	0,8	10,2	104	
	\sum_2^5	4,63548					\sum_2^5	388	

Сопоставляя 4 последних скважины с первой, получим:

$$k = 0,73 \times 0,012 \cdot \frac{4,635 - 4 \cdot 0,301}{388 - 4 \cdot 74} \cdot 86.400 = 27,6 \text{ м./сут.}$$

В простейшем случае можно ограничиться лишь одной центральной и одной контрольной скважинами (или шурфами).

В приведенном примере можно взять центральную скважину и одну из контрольных, например № 2 в 6 м. от центральной. Тогда

$$k = 0,73 \cdot 0,012 \cdot \frac{\lg 6 - \lg 0,5}{88 - 49} \cdot 86.400 = 20,8 \text{ м./сут.}$$

Наконец, для приблизительного определения коэффициента k можно воспользоваться откачкой из одного колодца, приняв произвольно радиус депрессионной воронки осушения, в зависимости от условий, за какую-либо величину, например 100, 200 м. и т. п., исходя из тех соображений, что величина радиуса депрессии входит в формулу дебита под знаком логарифма, и ее изменения не особенно сильно влияют на изменение дебита или коэффициента.

Пример. Применяя формулу (11 bis) к данным откачки, приведенным раньше для центрального колодца, и принимая условно $R = 100$ м., получим:

$$k = 0,73 \cdot 0,012 \cdot \frac{\lg 100 - \lg 0,5}{121 - 49} = 0,00027 \text{ куб. м./сек.} = 23,4 \text{ куб. м./сут.}$$

Если бы мы приняли $R = 200$ м., то получили бы:

$$k = 0,00032 \text{ куб. м./сек.} = 27,6 \text{ куб. м./сут.}$$

Для определения расхода грунтового потока Т и м предложил пользоваться группами скважин (или шурфов), размещаемыми по линии перпендикулярной направлению потока в расстоянии 500—800 м., минимум 150—200 м. одна группа от другой. В каждой группе надо заложить по крайней мере 3 скважины для определения направления потока по углам треугольника с стороны максимума 50—100 м. Из одной скважины, расположенной вниз по течению, производится откачка с замером количества воды и уровней воды в скважинах. В дополнение к имеющимся трем скважинам полезно заложить еще дополнительную на одной из сторон треугольника в более близком расстоянии от скважины с откачкой. Так как контрольные скважины расположены под некоторым углом к направлению потока, надо внести поправку на величину напорного градиента. Если i_1 — уклон между двумя скважинами, расположенными на линии под углом α к направлению потока, то i — наибольший уклон $= \frac{i_1}{\cos \alpha}$. Более подробные сведения см. в „Инструкции по определению мощности подземного потока“.

При откачках следует попутно вести некоторые наблюдения, относящиеся к режиму исследуемых вод.

Так, полезно отмечать ежедневно главные метеорологические данные: температуру воздуха, барометрическое давление и осадки, так как уровень грунтовых вод, как известно, очень чувствительно реагирует на изменения погоды. Необходимо время от времени замерять также температуру грунтовой воды.

Кроме того, для выяснения качественного состава вод полезно брать для анализа пробы воды до откачки и в конце откачки, чтобы убедиться в однородности воды и выяснить, не происходит ли подсосывания воды из какого-либо другого источника, например из другого водоносного слоя, из соседнего открытого водоема (реки, озера) или из соседнего очага загрязнения воды. Сплошь и рядом в погоне за количественной оценкой водоносного слоя забывают произвести попутные исследования качества воды и ее изменения, для чего опытные откачки дают исключительно благоприятные условия.

Опытный участок с откачкой можно также использовать для опытного определения фактических скоростей движения грунтовых вод при разных напорных градиентах. Для этого в одну из скважин запускают раствор флюоресцеина или соли-электролита и в ниже расположенной по уклону депрессионной поверхности замеряют появление индикатора. Способы измерения скоростей см. в „Инструкции по определению направления и скорости движения подземных вод“.

Приложение формулы Дюпюи к напорным водам.

Вычисление коэффициента фильтрации для напорного водоносного слоя производится по формуле:

$$q = \frac{2\pi k (H-h) m}{\ln \frac{R}{r}} \dots \dots \dots (17)$$

или

$$k = \frac{q (\ln R - \ln r)}{2\pi (H-h) m} = 0,365 q \frac{\lg R - \lg r}{Sm} \dots \dots \dots (17 \text{ bis})$$

где q — расход; H — высота напора от подошвы водоносного слоя; h — то же в центральной скважине при понижении напора откачкой; S — величина понижения напора, т.е. $H-h$; R — радиус депрессии напора; r — радиус буровой скважины; m — мощность водоносного слоя.

При напорных горизонтах разбивать столь подробную сеть контрольных скважин, как при грунтовых водах, обыкновенно не представляется возможным. Приходится ограничиваться лишь 2—3 скважинами.

В общем виде формула для получения коэффициента k для скважин будет:

$$k = 0,366 q \frac{\lg x_1 + \lg x_2 + \dots + n \lg x - n \lg r}{(y_1 + y_2 + \dots + y_n - nh) m} \dots \dots \dots (18)$$

или

$$k = 0,366 \frac{\sum_2^n \lg x - n \lg x_1}{\left(\sum_2^n y - ny_1 \right) m} \dots \dots \dots (18 \text{ bis})$$

Самый опыт и запись данных опыта производятся по тому же способу, что и для грунтовых вод.

Если откачка производится при нескольких разных понижениях, то расходы будут:

$$q_1 = \frac{2\pi k S_1 m}{\ln \frac{R_1}{r}}$$

$$q_2 = \frac{2\pi k S_2 m}{\ln \frac{R_2}{r}} \dots \dots \dots (19)$$

Так как радиус депрессионной воронки изменяется не в очень сильной степени, а величина его входит под логарифм, то разницей в значении этой величины можно пренебречь и признать дебиты примерно пропорциональными понижению уровня при откачке (формула 5).

Пример. Из водоносного слоя, мощностью 6 м., с напором, равным 16 м., произведена откачка с производительностью 4.000 вед. в час. при понижении уровня воды в скважине на 4,7 м. В соседней скважине в расстоянии 60 м., которая использована в качестве контроль-

ной, уровень под влиянием откачки в первой скважине понизился на 0,5 м. Диаметр скважины 8". Определить коэффициент фильтрации породы (k) и глубину опускания насоса для получения 10.000 вед. в час.

$$k = \frac{0,366 \cdot 4.200 (\lg 60 - \lg 0,1)}{(15,5 - 11,63)} = 170 \frac{\text{вед.}}{\text{час.}}$$

Тогда для определения глубины понижения уровня при проектном дебите в 10.000 ведер берем пропорцию

$$\frac{s}{4,7} = \frac{10.000}{4.000}$$

откуда $s = 11,2$, или примерно 11 м.

Определение коэффициентов Смрекера.

По Смрекеру (формула 9)

$$v = \sqrt[m]{\frac{i}{C}}; \quad q = F \sqrt[m]{\frac{i}{C}} \dots \dots \dots (9)$$

где F — площадь поперечного сечения потока, i — уклон, m и C — коэффициенты, требующие своего определения.

Для определения коэффициентов необходимо иметь две скважины (колодца), из которых в одной производят откачку, а другая служит контрольной. Откачку производят дважды или даже несколько раз при разных понижениях уровня воды.

Применительно к колодцу (скважине) (рис. 3) формула Смрекера получает вид:

$$q = 2\pi xy \left(\frac{i}{C}\right)^{\frac{1}{m}} \dots \dots \dots (20)$$

где x — расстояние контрольной скважины от центральной и y — ордината — высота слоя воды в контрольной скважине при откачке.

Для нахождения коэффициента m пользуются формулой:

$$\left(\frac{q_1}{q_2}\right)^m = \frac{H^{m+1} - y_1^{m+1}}{H^{m+1} - y_2^{m+1}} \dots \dots \dots (21)$$

где q_1 и q_2 — расходы скважины при двух разных понижениях уровня, y_1 и y_2 — соответственные ординаты высоты воды в контрольной скважине при 1 и 2 откачках.

Для решения этого уравнения применяется графический метод, заключающийся в следующем. Приравнивают обе части уравнения (21) к некоторым величинам b и e :

$$\left(\frac{q_1}{q_2}\right)^m = b \left[\frac{H^{m+1} - y_1^{m+1}}{H^{m+1} - y_2^{m+1}} = e \dots \dots \dots (22) (23) \right]$$

Затем строят для каждого из полученных уравнений кривую на системе координат, по оси абсцисс которой откладываются значения коэффициента m в пределах от 1 до 2, а по осям ординат значения b и e . Кривую b , а затем e строят, приравнявая m последовательно 1, 1,25, 1,5, 1,75, 2.

Точка пересечения этих кривых дает решение двух уравнений (22) (23), и ее абсцисса дает искомое значение m .

Коэффициент C находится из следующего уравнения:

$$C = \frac{m-1}{m+1} (2\pi)^m \frac{H^{m+1} - y^{m+1}}{q^m} x^{m-1} \dots \dots \dots (24)$$

где обозначения те же, что и раньше.

Пример. Приведем пример вычислений C и m из данных откачки, ранее приведенной.

Откачка производилась при двух понижениях уровня в центральной скважине: на 1 и на 2 м. от первоначального. Все необходимые для вычислений данные сведены в следующую таблицу III.

Табл. III.

№№ скваж.	Расстояние от центр.	H	1-я откачка			2-я откачка		
			Пониж. уровня (м.) s_1	Уровень при отк. (м.) y_1	Дебит куб. м./сек. q_1	Пониж. уровня (м.) s_2	Уровень при отк. (м.) y_2	Дебит куб. м./сек. q_2
Центр.	—	11	4	7	0,012	3	8	0,010
1	2	—	2,4	8,6	—	1,7	9,3	—
2	6	—	1,6	9,4	—	1,2	9,8	—

Определим сначала m вышеуказанным способом:

$$b = \left(\frac{q_1}{q_2}\right)^m = (1,2)^m$$

при $m = 1,0; 1,5; 2,0$

$$b = 1,20; 1,31; 1,44$$

$$l = \frac{H^{m+1} - y_1^{m+1}}{H^{m+1} - y_2^{m+1}} = \frac{11^{m+1} - 8,6^{m+1}}{11^{m+1} - 9,3^{m+1}}$$

при $m = 1,0; 1,5; 2,0$

$$l = 1,33; 1,325; 1,32$$

из пересечения двух построенных кривых для b и e получаем $m = 1,55$.

Далее находим значение C из формулы (24):

$$C = \frac{m-1}{m+1} (2\pi)^m \frac{11^{m+1} - 9,3^{m+1}}{(0,01)^m} \cdot 2^{m-1}$$

при $m = 1,55$

$$C = \frac{0,55}{2,55} (6,28)^{1,55} \frac{11^{2,55} - 9,3^{2,55}}{(0,01)^{1,55}} \cdot 2^{0,55} = 662.000$$

При другой подстановке (y_1) получим:

$$C = \frac{0,55}{2,55} (6,28)^{1,55} \frac{11^{2,55} - 8,6^{2,55}}{(0,012)^{1,55}} \cdot 2^{0,55} = 791.000$$

Отсюда среднее значение $C = 726.000$.

При пересчете на k получается:

$$k = \frac{1}{\sqrt[1,55]{726.000}} = 0,000166 \text{ куб. м./сек.} = 14,3 \text{ куб м./сут.}$$

При большой мощности водоносного слоя (H) и при небольшом понижении уровня (s) можно с некоторым приближением упростить определение величины m , принимая для грунтовых вод, как и для напорных, пропорциональность дебитов понижения, а именно:

$$\frac{q_1}{q_2} = \frac{\sqrt[m]{s_1}}{\sqrt[m]{s_2}} \text{ или } \left(\frac{q_1}{q_2}\right)^m = \frac{s_1}{s_2} \dots \dots \dots (25)$$

Откуда

$$m = \frac{\lg \frac{s_1}{s_2}}{\lg \frac{q_1}{q_2}} \dots \dots \dots (26)$$

Для предыдущего примера тогда получим:

$$m = \frac{\lg \frac{4}{3}}{\lg \frac{0,012}{0,010}} = 1,57$$

Для напорных вод определение коэффициентов С мрекера m и C производится по следующим формулам:

$$m = \frac{\lg \frac{s_1}{s_2}}{\lg \frac{q_1}{q_2}} \dots \dots \dots (26)$$

$$C = (m - 1) \frac{s}{\left(\frac{q}{2\pi a}\right)^m} x^{m-1} \dots \dots \dots (27)$$

где s — понижение уровня в контрольной скважине, x — расстояние ее от центральной скважины, a — мощность водоносного слоя.

ЛИТЕРАТУРА.

- Астапов, С. В. Очерки по изучению физических свойств почв. Ч. I. Механический состав почв. Изд. Инст. Сельско-Хозяйственных Мелиораций. 1928.
- Замарин, Е. А., инж. Расчет движения грунтовых вод. Тр. Оп.-Иссл. Института Водн. Хоз. 1928.
- Зауэрбрей, И. И., инж. Обзор современных германских работ по установлению связи между водными свойствами и механическим составом почво-грунтов. Изд. Научно-Мелиорац. Инст. 1927.
- Краснопольский, А. А. Грунтовые и артезианские колодцы. СПб., 1912. — То же в Горном Журнале, 1912 г., кн. 3, 4, 5 и 6.
- Люгер. Водоснабжение городов. Ч. I—IV. Перевод инж. Боровича. СПб., 1898—1904.
- Нифантов, А. П. и Каменский, Г. Н. Гидрогеологические исследования в связи с устройством водоподпорных сооружений и водохранилищ. 1929.
- Prinz, E. Handbuch der Hydrologie. II Auflage. Berlin, 1923.
- Саваренский, Ф. П. Механический состав как показатель водопроницаемости и зависимость его от дисперсных свойств грунтов (по данным исследований на Мугани). Мат. по оп.-строит. работам на Мугани. 1929.
- Slichter, Ch. S. Подземные воды. Перев. с англ. горн. инж. А. Д. Стопневича. 1912.
- Сурин, А. А. Водоснабжение. Ч. I. Вода и водосборные сооружения. 1926.

Редактор *П. И. Бутков.*

Технич. редактор *Р. А. Аронов.*

Сдана в набор 23/IV—1932 г.

Подписана к печати 25/IX—1932 г.

Формат 62×94.

Тип. зн. в 1 п. л. 53.040.

Ленгорлит № 56204. Георазведиздат № 249. Р—56-5(4)-3. Тираж 7100. Объем 1 п. л.

Тип. Госфиниздат, им. Котлякова, Ленинград, кан. Грибоедова, 30—32. Зак. № 4729.

ВЕСЕЛЫЕ ГОДЫ

Р-15-17(1)-1.

Все издания Геолого-Разведочного Издательства
сысылает наложенным платежом Отдел Книги—Печать
и **КНИГОСЫТАТИ**:

1. Москва, Центр. Рыбный пер., 2, помещ. 23.

2. Ленинград, внутри Гостиного двора, помещ. 100.