

П. ИЫГАР

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ ПРИ ПОМОЩИ СУММАРНЫХ УРОВНЕЙ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

В настоящей статье дается метод определения гидрогеологического строения водовмещающих пород при помощи средних пьезометрических уровней без предварительных сведений о водоносных горизонтах. Вычисление средних значений пьезометрических уровней ведется методом, аналогичным разработанному автором для определения средних коэффициентов фильтрации при неравномерном вскрытии скважинами неоднородных пород (Иыгар, 1972). Таким образом, будем считать, что применима формула

$$h_i = \sum_{r=1}^R \frac{p_{ir}}{\sum_{r=1}^R p_{ir}} h_r, \quad (1)$$

где

$$p_{ir} = \frac{T_{ir}}{\sum_{i=1}^N T_{ir}}, \quad (2)$$

при условии, что положение суммарного уровня есть средневзвешенное от глубин залегания уровней каждого горизонта и определяется уравнением (Альтовский, 1950)

$$h_r = \frac{h_1 T_{1r} + h_2 T_{2r} + \dots + h_N T_{Nr}}{T_{1r} + T_{2r} + \dots + T_{Nr}}. \quad (3)$$

Здесь  $h_r$  — глубина залегания суммарного уровня при соединении  $i$  горизонтов ( $i=1, 2, \dots, N$ ) в скважине  $r$  ( $r=1, 2, \dots, R$ );  $h_1, h_2, \dots, h_N$  — глубины залегания уровней отдельных горизонтов;  $T_{1r}, T_{2r}, \dots, T_{Nr}$  — величины водопроницаемостей отдельных горизонтов, вычисляемые по формуле

$$T_{ir} = k_i m_{ir}, \quad (4)$$

где  $k_i$  — коэффициенты фильтрации пород горизонта  $i$ ;  
 $m_{ir}$  — мощность вскрытой части горизонта  $i$  в скважине  $r$ .

При решении поставленной задачи методом наименьших квадратов система уравнений состоит из  $r$  однотипных уравнений вида (3) и число скважин  $r$  должно превышать число горизонтов  $i$ . Но, как уже говорилось (Иыгар, 1972), попадание отыскиваемых средних значений в разумный интервал не всегда гарантируется. Поэтому мы предлагаем вычислять значения  $h_i$  по формуле (1), основанной на условной вероятности Байеса. Формула (1) гарантирует такие значения  $h_i$ , которые не выходят

за пределы наибольшего и наименьшего значений суммарного уровня скважин, где данный горизонт  $i$  вскрыт.

Распознавание водоносных горизонтов производится на основе вычисленных значений  $h_i$ . Если, например, разность между пьезометрическими уровнями смежных водоносных горизонтов (слоев) больше установленного порога  $\alpha$ , т. е.

$$|h_i - h_{i+1}| > \alpha, \quad (5)$$

то наличие отдельных водоносных горизонтов считается подтвержденным.

Численный пример. Продемонстрируем ход вычислений на примере 10 эксплуатационных буровых скважин, расположенных в пос. Пээтри Пайдеского района ЭССР. Расстояния между скважинами 0,2—6 км, их глубина 30—70 м. Рабочие части скважин вскрывают четыре стратиграфических горизонта; тамсалуский ( $S_{1tm}$ ), юурусский ( $S_{1jr}$ ), поркуниский ( $O_{3pk}$ ) и пиргуский ( $O_{3pg}$ ). Эти горизонты целесообразно принять в качестве первоначальных водоносных горизонтов с номером  $i$ . Из-за большого объема пиргуский горизонт разделен на адиласкую ( $O_{3pgA}$ ) и мозскую ( $O_{3pgM}$ ) пачки.

Высоты пьезометрических уровней в отдельных скважинах характеризуют уровни только в данном месте и в данное время замера. Поэтому они приводятся к единому центру группы скважин и к единовременному замеру уровня. Это необходимо, так как региональный наклон уровня подземных вод в пределах одной группы скважин, а также колебания уровня подземных вод во времени могут существенно повлиять на достоверность результатов вычисления значений  $h_i$ .

Высота пьезометрического уровня в единичной скважине  $r$ , приведенная к центру группы скважин и к осенне-летнему минимуму, вычислена по формуле

$$h_r = H_r - \Delta h_{r\text{гуп}} \pm \Delta h_{r\text{рег}} - \Delta h_{r\text{реж}}, \quad (6)$$

где  $H_r$  — абсолютная отметка устья скважины  $r$  в м;  
 $\Delta h_{r\text{гуп}}$  — глубина до уровня воды от устья скважины  $r$  в м;  
 $\Delta h_{r\text{рег}}$  — среднее региональное приращение уровня воды на отрезке от центра группы до места расположения скважины  $r$ ;  
 $\Delta h_{r\text{реж}}$  — среднее приращение уровня воды во время данной декады замера уровня воды в скважине  $r$  по сравнению с уровнем воды во время осенне-летнего минимума. (Определяется по данным многолетних наблюдений над определенным режимом подземных вод).

В табл. 1 приведены значения водопроводимостей  $T_{ir}$ . Приняты следующие значения величины  $k_i$  (м/сут):  $k_{S_{1tm}} = 5,21$ ;  $k_{S_{1jr}} = 4,25$ ;  $k_{O_{3pk}} = 4,15$ ;  $k_{O_{3pgA}} = 2,49$ ;  $k_{O_{3pgM}} = 7,52$ .

Отметим, что если учитывать среднегрупповые значения  $k_i$  соседних групп скважин, то для каждой скважины  $r$  рассматриваемой группы можно получить значения  $k_i(x_r, y_r)$ , зависящие от географических координат  $x_r$  и  $y_r$  скважины. В пределах группы скважин пос. Пээтри значения  $k_i(x_r, y_r)$  определены для 9 скважин в 17 случаях из 26. Соответственно определились и новые значения  $T_{ir}$ . Например, коэффициенты фильтрации юурусского и поркуниского горизонтов по скв. № 4 получились равными 5,8 и 5,5 м/сут, а величины  $T_{ir}$  — 63,8 и 38,5 м<sup>2</sup>/сут.

В табл. 2 приведены значения  $h_i$  для всех горизонтов, определенные по схеме  $h_i = \int(T_{ir}(k_i))$  с использованием формул (1), (2). Особо найдены значения  $h_i$  с учетом географических координат отдельных скважин.

Таблица 1

Значения водопроницаемости отдельных стратиграфических горизонтов и показателей пьезометрического уровня

| № скважины<br><i>r</i> | Водопроницаемость $T_{ir}$ ( $m^2/cyr$ ) открытых частей стратиграфических горизонтов |           |           |            |            | $H_r$ | Месяц и год замера уровня | $\Delta h_{r, пер}$ | $\Delta h_{r, реж}$ | $\Delta h_{r, ур}$ | $h_r$ по формуле (6) |
|------------------------|---|-----------|-----------|------------|------------|-------|---------------------------|---------------------|---------------------|--------------------|----------------------|
|                        | $S_{1tm}$   | $S_{1jr}$ | $O_{3pk}$ | $O_{3pgA}$ | $O_{3pgM}$ |       |                           |                     |                     |                    |                      |
| 1                      |   |           | 27,0      | 42,3       | 41,4       | 75,0  | VII/69                    | +3,0                | -1,2                | 2,8                | 74,0                 |
| 2                      |   |           | 24,9      | 39,9       | 15,0       | 81,2  | VI/67                     | +2,5                | -2,0                | 1,5                | 80,2                 |
| 3                      |   |           |           | (1,0)      |            | 78,0  | XI/58                     | +0,5                |                     | 4,2                | 74,3                 |
| 4                      |   | 46,8      | 29,0      |            |            | 84,0  | IX/65                     | -1,25               | -1,0                | 7,5                | 74,25                |
| 5                      |   | 42,5      | 28,7      | 39,8       |            | 82,0  | X/69                      | +2,0                | -0,85               | 5,0                | 78,15                |
| 6                      |   | 6,4       | 30,4      | 37,3       | 167,7      | 88,0  | X/69                      | -1,5                | -0,8                | 8,0                | 77,7                 |
| 7                      |   |           | 30,3      | 42,3       | 35,3       | 77,0  | X/64                      | +2,5                | -0,7                | 5,0                | 73,8                 |
| 8                      | 95,3  | 8,5       |           |            |            | 81,0  | VI/71                     | +4,0                | -2,0                | 3,5                | 79,5                 |
| 9                      |   | 34,0      | 31,2      | 31,3       |            | 82,0  | I/64                      | -1,75               | -0,7                | 2,0                | 77,55                |
| 10                     | 62,5  | 55,3      |           |            |            | 80,4  | VII/68                    | +4,0                | -0,6                | 2,15               | 81,65                |

Таблица 2

| Схема вычисления                | Стратиграфические горизонты |           |           |            |            |
|---------------------------------|-----------------------------|-----------|-----------|------------|------------|
|                                 | $S_{1tm}$                   | $S_{1jr}$ | $O_{3pk}$ | $O_{3pgA}$ | $O_{3pgM}$ |
| $h_i = f(T_{ir}(k_i))$          | 80,22                       | 77,68     | 76,44     | 76,11      | 76,32      |
| $h_i = f(T_{ir} k_i(x_r, y_r))$ | 80,18                       | 77,92     | 76,59     | 75,94      | 76,45      |

Из табл. 2 видно, что несколько обособленно ведут себя пьезометрические уровни горизонтов  $S_{1tm}$  и  $S_{1jr}$ ; это дает основание считать их самостоятельными водоносными горизонтами (слоями). Значения  $h_i$  горизонтов  $O_{3pk}$ ,  $O_{3pgA}$  и  $O_{3pgM}$  значительно ближе друг к другу. Все это подтверждает наличие единого водоносного горизонта в объеме, по меньшей мере, поркуниского и пиргуского стратиграфических горизонтов.

Анализ распределения высот пьезометрического уровня. Описанный метод применен для вычисления средних высот пьезометрического уровня водовмещающих пород Пандивереской возвышенности на северо-востоке Эстонии. Имеющиеся здесь более 400 скважин разделены на 36 групп по признаку их расположения. Вычисления проведены подобно описанному выше численному примеру по нескольким схемам. В подавляющем большинстве случаев разные схемы дали для одной и той же группы скважин одинаковые распределения значений  $h_i$ . Результаты вычислений (преимущественно по схеме  $h_i = f(T_{ir}(k_i))$ ) приведены в табл. 3.

По табл. 3 можно определить те стыки горизонтов, на которых разность  $h_i - h_{i+1}$  превышала некоторую выбранную величину порога  $\alpha$ . В данном случае признаком водоупора принята следующая разность (скачок) между двумя смежными значениями  $h_i$ : если уровень нижележащего горизонта выше уровня вышележащего горизонта, то  $\alpha = 0,75 \div 0,8$  м; если уровень нижележащего горизонта ниже уровня вышележащего горизонта, то  $\alpha = 1$  м.

Выделяются стыки горизонтов, на которых чаще всего наблюдаются скачкообразные изменения пьезометрического уровня. Как видно из

табл. 3, наиболее частые скачки уровней приходится на стыки горизонтов  $O_2uh/O_2kk$ ;  $O_2on/O_3rkP$ ;  $O_3nbS/O_3vr$ ;  $S_{1jг}/S_{1tm}$ . При наличии скачка водоупорные породы залегают либо в нижней половине вышележащего горизонта, либо в верхней половине нижележащего горизонта. Для большего уточнения места залегания водоупора требуются дополнительные сведения.

Полученные результаты в общем совпадают с уже сложившимися представлениями о гидрогеологическом строении района. Например, это касается водоупоров глинистых известняков ухакусского ( $O_2uh$ ) горизонта, промпачки горючих сланцев кукурзеского ( $O_2kk$ ) горизонта, глинистых известняков оандуского ( $O_2on$ ), вормсисского ( $O_3vr$ ) и юурского горизонтов.

Изложенный метод может быть рекомендован при гидрогеологических исследованиях для экспрессного определения гидростратиграфии водоупорных пород.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Альтовский М. Е. Расчет водопоглощающих скважин. Разведка недр, № 1 (1950).  
Йыгар П. Е. Вычисление параметров водопроницаемости коренных пород. Изв. АН ЭССР. Хим. Геол., 21, № 4 (1972).

Институт геологии  
Академии наук Эстонской ССР

Поступила в редакцию  
22/VI 1973

P. JOGAR

#### HÜDROGEOLOOGILISE EHITUSE UURIMINE PÕHJAVETE SUMMAARSETE TASEMETE ALUSEL

Artiklis käsitletakse vett sisaldavate kihtide stratifitseerimist summaarsete, s. o. mitme kihi kohta kehtivate põhjavete tasemete abil. Uksikute kihtide veetasemed  $h_i$  arvutatakse suhtelise tõenäosuse alusel (valem (1),  $r=1, 2, \dots, R$  — puuraukude arv;  $i=1, 2, \dots, N$  lademete arv;  $p_{ir}$  —  $i$ -nda lademe veejuhtivuse osakaal  $r$ -ndas puuraugus). Vett sisaldavate kihtide ühendamine veehorisontideks toimub kihtide veetasemete omavahelise võrdluse alusel. Analüüsiti Kirde-Eestis paikneva 36 puuraukude grupi kohta käivaid andmeid (tab. 3).

P. JOGAR

#### STUDY OF THE HYDROGEOLOGICAL STRUCTURE ON THE BASIS OF THE SUMMARY LEVELS OF UNDERGROUND WATERS

The article deals with the stratification of summary water-bearing strata with the help of summary (i. e. summarized according to the profile of the boreholes) piezometric levels of the underground waters. The computation of the mean piezometric levels has been effected on the basis of the relative probability of Bayes, whereas the determination of the water-resistant and water-bearing strata has been grounded on the sharp difference between the values of the water-levels of adjacent water-bearing strata. According to that method, the most probable hydrogeological structure of the carbonaceous rocks of Northeast Estonia has been determined (Table 3).

