

# ГЕОЛОГІЯ

УДК 622.279.23/4

\*В.М. Абеленцев, к.геол.н., зав. сектором,

\*\*А.Й. Лур'є, д.г.-м.н., професор,

\*\*Т.В. Догадіна, д.біол.н., професор,

\*Український науково-дослідний інститут природних газів,

\*\*Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

## ОЦІНКА ПАРАМЕТРІВ ВОДОНОСНОГО КОМПЛЕКСУ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ РОЗРОБКИ РОДОВИЩ ВУГЛЕВОДНІВ

У даній статті за параметрами розробки нафтогазових об'єктів оцінені реальні або наближені до них параметри водонапірних систем. Це стосується таких параметрів, як поточний пластовий тиск в будь-якій точці системи, її поровий об'єм, радіус, площа, проникність, гідропровідність, п'єзопровідність. Оцінювалися параметри систем, що містять нижньовізейсько-верхньодевонський об'єкт Тимофіївського родовища і групу верхньосерпуховських об'єктів Котелевського-Березівського валу. З'ясувалося, що в обох випадках водонапірні системи, які містять об'єкти розробки, мають обмежені площі і об'єми розвитку і є фактично ділянками нижньовізейсько-верхньодевонських і верхньосерпуховського водонасних комплексів, що ізольовані від основних площ і об'ємів їх розвитку.

**Ключові слова:** параметри розробки, водонасний комплекс, проникність, гідропровідність, п'єзопровідність.

**В.М. Абеленцев, А.И. Лурье, Т.В. Догадина. ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ВОДОНОСНОГО КОМПЛЕКСА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ.** В данной статье по параметрам разработки нефтегазовых объектов оценены реальные или приближенные к ним параметры водонапорных систем. Это касается таких параметров, как текущее пластовое давление в любой точке системы, ее поровый объем, радиус, площадь, проницаемость, гидропроводность, пьезопроводность. Оценивались параметры систем, содержащих нижневизейско-верхнедевонский объект Тимофеевского месторождения и группу верхнесерпуховских объектов Котелевско-Березовского вала. Выяснилось, что в обоих случаях водонапорные системы, что содержат объекты разработки, имеют ограниченные площади и объемы развития и являются фактически участками нижневизейско-верхнедевонских и верхнесерпуховского водонасных комплексов, которые изолированы от основных площадей и объемов их развития.

**Ключевые слова:** параметры разработки, водонасний комплекс, проницаемость, гидропроводность, пьезопроводность.

В промисловій практиці відомий ряд методів [1, 2, 3], які використовуються для оцінки параметрів водонасних комплексів за даними розробки покладів вуглеводнів (ВВ). Всі вони в кінцевому підсумку базуються на наступній фундаментальній властивості (особливості) флюїдних систем. В якості узагальнюючого показника енергетичного потенціалу (стану) будь-якої флюїдної системи можна розглядати їх пластовий тиск. Будь-яка система реагує насамперед на зміну тиску. Водонапірна система, яка вміщує поклади вуглеводнів, що розробляються, реагує на зміну пластового тиску. Але, за даними розробки покладів ВВ можна оцінити тільки середньозважений пластовий тиск в покладі і пластовий тиск на її розділі газ- вода (на контурі). Тим самим можна припустити, що оцінюється і пластовий тиск водонасного комплексу в його частині, безпосередньо прилеглої до покладу. Разом з тим, ключовим параметром водонасного комплексу, на базі значення якого можна оцінити інші його параметри, є середній поточний тиск у цілому в комплексі. Але, оцінити його тільки на базі даних розробки покладів ВВ не представляється можливим. Тому, ряд методів оцінюють лише окремі параметри водонасного комплексу, наприклад, гідропровідність, проникність і ефективну товщину водонасного комплексу і лише поблизу контуру газ-

вода покладу, що розробляється, а не по всій площі водонасного комплексу. Інші параметри комплексу не оцінюються. При необхідності вони просто задаються. Інші методи оцінюють розмір, об'єм і коефіцієнт гідропровідності всього водонасного комплексу. Але, тільки в тому випадку, коли відомий за фактом (на базі п'єзометричних свердловин) характер розподілу тисків по площі водонасного комплексу, що дозволяє розрахувати його середній тиск.

Нами розроблений метод (методичний підхід), який дозволяє на базі даних розробки покладів ВВ оцінити параметри водонасного комплексу, який їх вміщує.

Розробка методу базувалася на наступному посиленні. Для того, щоб визначити параметри водонасного комплексу, потрібно знати значення, принаймні, двох параметрів - середнього поточного пластового тиску у водонасному комплексі та сумарний об'єм впровадженої в поклад (в збільшену свердловину) пластової води.

Для вирішення завдання нами розроблений і використаний методичний прийом, що полягає у спільному вирішенні двох рівнянь: В.Н. Щелкачова (теорії пружного режиму фільтрації) та Ван Евердінгена і Херста. Обидва рівняння дають можливість оцінити об'єм впровадженої в поклад (збільшену свердловину) пластової во-

ди. Підставляючи у вищезгадані рівняння оцінені об'єми впровадженої води, можна оцінити ряд параметрів водоносного комплексу. Рівняння Ван Евердінгена і Херста (1949 р.) дозволяє оцінити функцію  $Q(f_0)$ , яка опосередковано несе інформацію про площу і границю водоносного комплексу. Рівняння В.Н. Щелкачова дозволяє оцінити середній поточний тиск, об'єм і площу (радіус) водоносного комплексу. Спільне рішення двох рівнянь дозволяє встановити залежність між п'ятьма параметрами: значенням функції  $Q(f_0)$  - радіусом збільшеної свердловини (покладу) - радіусом контуру водоносного комплексу - середніми поточними тисками у всьому водоносному комплексі та на межі розділу газ-вода. А це дає можливість, у свою чергу, на базі рівняння теорії пружної фільтрації і встановленої залежності оцінити середній поточний пластовий тиск водоносного комплексу. Знаючи останній, оцінюється ефективний водонасичений поровий об'єм комплексу, а на його базі послідовно оцінюються інші параметри комплексу. В цілому встановлення останніх проводиться в послідовній оцінці наведених нижче параметрів.

1. Значення функції  $Q(f_0)$ .
2. Мінімальний радіус водоносного комплексу .
3. Середній поточний пластовий тиск в ньому.
4. Близький до фактичного ефективний водонасичений поровий об'єм.
5. Максимальна ефективна водонасичена товщина.
6. Близький до фактичного радіус контуру.
7. Площа.
8. Коефіцієнт п'езопровідності.
9. Коефіцієнт проникності.
10. Коефіцієнт гідропровідності .

Нижче зупинимось на тому, як і чому саме в такій послідовності визначається кожний з вищезгаданих параметрів .

1. Значення функції  $Q(f_0)$  визначається на базі рівняння Ван Евердінгена і Херста:

$$Q_v = \frac{2 \pi K_{пр} h R_3^2}{\mu \chi} \Delta P Q(f_0), \quad (1)$$

звідки слідує

$$Q(f_0) = \frac{Q_v \mu \chi}{2 \pi K_{пр} h R_3^2 \Delta P}, \quad (2)$$

замінивши коефіцієнт п'езопровідності ( $\chi$ ) на вираження  $K_{пр}/\mu\beta^*$ , рівняння можливо представити в наступному вигляді:

$$Q(f_0) = \frac{Q_v}{2 \pi h R_3^2 \beta^* \Delta P}, \quad (3)$$

для збільшеної свердловини, представленої через радіанний кут, рівняння має вигляд:

$$Q(f_0) = \frac{Q_v}{\varphi h R_3^2 \beta^* \Delta P}, \quad (4)$$

де  $Q(f_0)$  - функція, значення якої залежить від фактичних умов на зовнішній границі водоносного комплексу та його ефективного порового об'єму, безрозмірна величина;

$Q_v$  - сумарний об'єм пластової води, впровадженої в збільшену свердловину (поклад) за розглянутий проміжок часу,  $m^3$ ;

$K_{пр}$  - середній для водоносного комплексу коефіцієнт проникності,  $m^2$ ;

$\mu$  - коефіцієнт динамічної в'язкості води при пластовій температурі,  $MПа \times сек$ ;

$f_0 = \chi t / R_3^2$  - безрозмірний параметр Фур'є, де  $t$  - часовий інтервал;

$h$  - середня для водоносного комплексу ефективна товщина на границі розділу газ-вода,  $m$ ;

$R_3$  - початковий радіус збільшеної свердловини (покладу),  $m$ ;

$\beta^*$  - коефіцієнт пружності водоносного комплексу,  $1/MПа$ ;

$\Delta P$  - різниця між початковим і середнім поточним пластовим тиском на стінці збільшеної свердловини (на межі розділу газ-вода),  $MПа$ ;

$\varphi$  - центральний кут збільшеної свердловини, в радіанах.

При розрахунку значення функції  $Q(f_0)$  величина ефективної товщини в водоносній частині пласта приймається рівною її середньозваженому значенню в газонасиченій частині пласта. Середній поточний пластовий тиск на межі розділу газ-вода визначається по картах ізобар. По суті, в розрахунок закладаються параметри, а саме: ефективна водонасичена товщина і середній поточний пластовий тиск на межі розділу газ-вода, які можуть характеризувати водоносний комплекс лише поблизу контуру газоносності, але не на всьому його протязі.

2. Мінімальний радіус контуру водоносного комплексу визначається на базі визначених значень аргументу  $f_0$  (безрозмірний час) функції  $Q$  і самої функції  $Q(f_0)$ . Згідно відповідних таблиць Н. Крістеа [3] знаходиться величина співвідношення радіуса водоносного комплексу до радіусу збільшеної свердловини. Встановлений за такий спосіб радіус водоносного комплексу є мінімальним, оскільки при розрахунку функції  $Q(f_0)$  прийнято припущення про те, що середня ефективна водонасичена товщина у всьому во-

доносному комплексі дорівнює середньозваженій газонасиченій в збільшеній свердловині, тобто перша прийнята явно завищеною.

Зауважимо також, що можливість застосування таблиць [3] з метою визначення радіуса контуру водоносного комплексу обмежена у разі, якщо об'єм впровадженної пластової води становить менше 10% від ефективного газонасиченого порового об'єму покладу при значному, до 30% від початкового, зниженні поточного пластового тиску на межі розділу газ-вода. Така ситуація можлива при неактивному прояві водонапірного режиму.

Близьке фактичному значення радіуса контуру водоносного комплексу можливо визначити шляхом поєднання двох рівнянь - пружного режиму фільтрації В.Н. Щелкачова з рівнянням Ван Евердінгена і Херста. Кількість води, що надійшла в поклад до моменту часу  $t$ , згідно рівняння В.Н. Щелкачова, виражається у вигляді:

$$Q_v = \Omega_0 \beta^* [P_n - P_v(t)], \quad (5)$$

$$\text{де } \Omega_0 = \pi (R_k^2 - R_3^2) h_v, \quad (6)$$

де  $\Omega_0$  - об'єм (геометричний) збуреної зони водоносного комплексу на момент часу  $t$ ,  $m^3$ ;

$R_k$  - радіус контуру водоносного комплексу,  $m$ ;

$h_v$  - середня для водоносного комплексу ефективна товщина,  $m$ ;

$P_n, P_v(t)$  - відповідно, початковий та середній поточний пластовий тиск в об'ємі водоносного комплексу, МПа.

Шляхом спільного вирішення рівнянь В.Н. Щелкачова і Ван Евердінгена і Херста отримуємо рівняння:

$$\pi (R_k^2 - R_3^2) h_v \beta^* [P_n - P_v(t)] = 2\pi R_3^2 h_v Q(f_0) \beta^* [P_n - P(R_3)], \quad (7)$$

після скорочень вираз записується у вигляді:

$$(R_k^2 - R_3^2) [P_n - P_v(t)] = 2R_3^2 Q(f_0) [P_n - P(R_3)], \quad (8)$$

звідки слідує

$$R_k = R_3 \sqrt{2 Q(f_0) \frac{P_n - P(R_3)}{P_n - P_v} + 1}. \quad (9)$$

Тим самим знайдена залежність між значенням функції  $Q(f_0)$  - радіуса збільшеної свердловини - радіуса контуру водоносного комплексу - середніми поточними тисками у всьому

водоносному комплексі та на межі розділу газ-вода.

На базі наведеної залежності, радіус контуру  $i$ , відповідно, площа водоносного комплексу, визначаються за умови, якщо встановлена середня величина поточного пластового тиску у всьому об'ємі водоносного комплексу. Тому, оцінений за таблицями Н. Крістеа мінімальний радіус водоносного комплексу дозволяє, в першому наближенні, оконтурити площу комплексу та розрахувати середній поточний пластовий тиск в ньому.

3. Середній поточний пластовий тиск у водоносному комплексі визначається на базі рівняння теорії пружного режиму фільтрації та встановленої залежності. Рішення задачі зводиться до визначення середнього поточного тиску у водоносному комплексі на значній відстані (у віддаленій зоні) від стінки збільшеної свердловини, тобто від межі розділу газ-вода, де поточний тиск завжди менше, ніж середній поточний тиск у водоносному комплексі. Оцінка середнього поточного тиску у водоносному комплексі здійснюється на базі встановленої величини його мінімального радіуса контуру (приведеного радіуса впливу збільшеної свердловини).

З цією метою на відстані між стінкою збільшеної свердловини і мінімальним радіусом контуру водоносного комплексу задаємо декількома віддаленими зонами, радіуси яких послідовно наближаються до мінімального радіусу контуру водоносного комплексу і визначаємо поточний пластовий тиск в кожній із зон на базі рівняння:

$$R_k = R_3 \left( \frac{R_y}{R_3} \right)^d, \quad (10)$$

в нашому випадку замість  $R_k$  розглядаємо  $R_{k \min}$ :

$$R_{k \min} = R_3 \left( \frac{R_y}{R_3} \right)^d, \text{ або } \frac{R_{k \min}}{R_3} = \left( \frac{R_y}{R_3} \right)^d, \quad (11)$$

$$\text{де } d = \frac{P_n - P(R_3)}{P_v(t) - P(R_3)}, \quad (12)$$

$$\text{звідки слідує } P_v(t) = \frac{P_n - P(R_3)}{d} + P(R_3), \quad (13)$$

де  $R_y$  - радіус віддаленої зони водоносного комплексу,  $m$ ;

$P_n, P_B(t), P(R_3)$  - пластові тиски, відповідно, початковий та поточний у віддаленій зоні водоносного комплексу і поточний на границі розділу газ- вода, МПа.

Оцінивши розподіл тиску по ряду віддалених зон, зважуємо середній поточний пластовий тиск водоносного комплексу:

$$P_B(t) = \frac{(R_{y1}^2 - R_3^2)P_{B(t)1} + (R_{y2}^2 - R_{y1}^2)P_{B(t)2} + \dots + (R_{yn}^2 - R_{y(n-1)}^2)P_{B(t)n}}{R_{k\min}^2 - R_3^2}, \quad (14)$$

де  $P_{B(t)}, P_{B(t)1}, P_{B(t)2}, P_{B(t)n}$  - поточні пластові тиски, відповідно, водоносного комплексу, першої, другої і n-ої віддаленої зони, МПа;

$R_{y1}, R_{y2}, R_{yn}$  - радіуси першої, другої і n-ої віддаленої зони, м.

4. Ефективний водонасичений поровий об'єм розраховується з урахуванням оціненої величини середнього поточного пластового тиску у водоносному комплексі і визначається рівнянням В. Н. Щелкачова:

$$Q_B = \Omega_0 \beta^* [P_n - P_B(t)], \quad (15)$$

звідки слідує

$$\Omega_0 = \frac{Q_B}{\beta^* [P_n - P_B(t)]}, \quad (16)$$

$$\Omega_0 = \pi (R_k^2 - R_3^2) h_B, \quad (17)$$

$$\Omega_B = \Omega_0 m = \pi (R_k^2 - R_3^2) h_B m, \quad (18)$$

де  $\Omega_0, \Omega_B$  - об'єми водоносного комплексу, відповідно, збуреної зони (геометричний) та ефективний поровий, м<sup>3</sup>;

$m$  - коефіцієнт пористості, в частках одиниці.

Необхідно відзначити, що величина порового об'єму, яка отримана через об'єм впровадженій в поклади ВВ пластової води і середній поточний пластовий тиск водоносного комплексу, надають інформацію про пружний запас водоносного комплексу. Ця залежність дозволяє прогнозувати об'єми води, які можуть впровадитися в поклади ВВ при зниженні пластових тисків у них і водоносному комплексі в цілому. При оцінці величини порового об'єму водоносного комплексу через його площу і ефективну водонасичену товщину такий прогноз здійснити неможливо.

5. Ефективна водонасичена товщина водоносного комплексу визначається на базі рівняння:

$$h_{B\max} = \frac{\Omega_B}{\pi (R_{k\min}^2 - R_3^2) m} \quad (19).$$

Величина ефективної товщини залежить від розрахованого радіуса контуру водоносного комплексу. Це може призвести до помилки при її визначенні. У вищеведеному рівнянні закладений мінімальний радіус контуру водоносного комплексу. Отже, отримане з рівняння значення ефективної товщини є максимально можливою величиною для водоносного комплексу.

6. Близькі фактичним значенням ефективної водонасиченої товщини і радіус контуру водоносного комплексу визначаються методом послідовних наближень на базі перерахованих вище рівнянь. Необхідно пов'язати (зшити) наступну систему рівнянь:

$$Q(f_0) = \frac{Q_B}{2\pi h_B R_3^2 \beta^* [P_n - P_B(R_3)]}, \quad (20)$$

$$R_k^2 = R_3^2 [2 Q(f_0) \frac{P_n - P(R_3)}{P_n - P_B(t)} + 1], \quad (21)$$

$$\Omega_B = \pi (R_k^2 - R_3^2) h_B m \quad (22)$$

Визначення параметрів виглядає наступним чином:

- в рівнянні Ван Евердінгена і Херста послідовно підставляють величини ефективної товщини і по них оцінюються значення функції  $Q(f_0)$ ;

- на базі отриманого значення функції  $Q(f_0)$  за встановленою залежністю визначається радіус контуру водоносного комплексу;

- прийнятому значенню ефективної водонасиченої товщини відповідає цілком певне значення радіуса контуру водоносного комплексу;

- за величинами ефективної водонасиченої товщини і радіуса контуру водоносного комплексу визначається ефективний водонасичений поровий об'єм комплексу;

- зрештою, методом послідовних наближень необхідно підібрати такі значення ефективної товщини і радіуса контуру водоносного комплексу, щоб розрахована за цими параметрами величина ефективного водонасиченого порового об'єму дорівнювала величині, яка розрахована на базі рівняння теорії пружного режиму фільтрації.

7. Площа водоносного комплексу визначається виразом :

$$S_B = \pi (R_k^2 - R_3^2), \quad (23)$$

де  $S_B$  - площа водоносного комплексу, м<sup>2</sup>;

8. Коефіцієнт п'єзопровідності водоносного комплексу визначається на базі рівняння:

$$\chi t = \frac{1}{4} [R_k^2 - R_3^2 - 2 R_3^2 \ln \frac{R_k}{R_3}], \quad (24)$$

звідки слідує:

$$\chi = \frac{R_k^2 - R_3^2 - 2R_3^2 \ln \frac{R_k}{R_3}}{4t}, \quad (25)$$

де  $\chi$  - коефіцієнт п'єзопровідності водоносного комплексу, м<sup>2</sup>/сек;

$t$  - часовий інтервал, сек;

$R_k$ ,  $R_3$  - радіуси, відповідно, контуру водоносного комплексу та збільшеної свердловини, м.

9. Коефіцієнт проникності водоносного комплексу визначається на базі рівняння:

$$\chi = \frac{K_{пр}}{\mu \beta^*}, \quad (26)$$

звідки слідує

$$K_{пр} = \chi \mu \beta^*, \quad (27)$$

де  $K_{пр}$  - коефіцієнт проникності водоносного комплексу, м<sup>2</sup>;

$\mu$  - коефіцієнт динамічної в'язкості води в пластових умовах, МПа·сек;

$\beta^*$  - коефіцієнт пружності водоносного комплексу, 1/МПа.

10. Коефіцієнт гідропровідності водоносного комплексу визначається на базі оцінених величин ефективної водонасиченої товщини і коефіцієнта проникності:

$$\frac{K_{пр} h_v}{\mu}, \quad (28)$$

Запропонована методична база дозволяє оцінювати параметри водоносного комплексу за результатами аналізу розробки одного або цілої групи експлуатаційних об'єктів, що локалізуються в одному водоносному комплексі.

Далі по тексту наведені приклади застосування методики, що пропонується.

Авторами була зроблена оцінка параметрів водоносного комплексу, що вміщує нижньовізейсько-верхньодевонського (за оцінкою фахівців УкрНДІгазу) або турнейський (за оцінкою фахівців ДГП "Полтаванафто-газгеологія") об'єкт розробки Тимофіївського родовища. Вона проводилася в такій послідовності.

Була побудована модель обводнення об'єкта. Оцінено, що станом на 01.2014 р. в об'єкт надійшло 3,65 млн м<sup>3</sup> пластової води, з них за механізмом підйому контакту – 2,22 млн м<sup>3</sup>, за механізмом її вибіркового впровадження, що випереджує фронт підйому контакту - 1,43 млн

м<sup>3</sup>. Дебіт надходження в поклад пластової води з водоносного комплексу - 5,8·10<sup>-3</sup> м<sup>3</sup>/сек.

На базі коефіцієнта проникності, що дорівнює 0,05·10<sup>-12</sup> м<sup>2</sup> (50 мД) (середнє значення проникності об'єкта розробки), і розрахованого значення (3,0·10<sup>-4</sup> 1/МПа) коефіцієнта пружності, оцінюється коефіцієнт п'єзопровідності водонасичених нижньовізейсько-верхньодевонських відкладів. Його величина склала 0,41 м<sup>2</sup>/сек.

На базі значення коефіцієнта п'єзопровідності, рівного 0,41 м<sup>2</sup>/сек і оціненого з площі нафтогазоносності радіусу збільшеної свердловини, рівного 2,16 км, розраховується параметр Фур'є ( $f_0$  - безрозмірний час). Його величина склала 2,77 з тимчасовим кроком в один рік.

На базі оцінених об'ємів (3,65 млн м<sup>3</sup>) впровадженої в об'єкт розробки пластової води, дебіту (5,8х10<sup>-3</sup> м<sup>3</sup>/сек) її надходження в нього, різниці в 13,33 МПа між початковим (44,03 МПа) і середнім поточним на 01.2014 р. (30,7 МПа) пластовими тисками на стінці збільшеної свердловини (на межі розділу нафта-вода) за рівняннями Ван Евердінгена і Херста розраховуються значення функцій  $Q(f_0)$  та  $P(f_0)$ , безрозмірні величини яких склали, відповідно, 1,62 і 1,73.

Розраховані значення аргументу  $f_0$  функції  $Q$  і  $P$  і значень самих функцій  $Q(f_0)$  та  $P(f_0)$ , дозволяють знайти величину співвідношення радіуса водоносного комплексу до радіусу збільшеної свердловини. За відповідними таблицями Н. Крістеа (1961 р.) [3, с. 274] величини співвідношення вищезгаданих радіусів оцінюються в 1,9 і 4,1 км.

Згідно оцінок, за методикою авторів, середній пластовий тиск водоносного комплексу оцінюється в 36,3 МПа, на зовнішньому його контурі - в 39 МПа, геометричний і ефективний поровий об'єм, відповідно, 1406 і 239 млн м<sup>3</sup>, радіус водоносного комплексу - 4,32 км, площа - 58,6 км<sup>2</sup>. Зовнішній контур (границя) водоносного комплексу, що вміщує нижньовізейсько-верхньодевонський нафтогазоконденсатний поклад Тимофіївського родовища, проходить на відстані 2,16 км (4,32 км - 2,16 км) від контуру нафтоносності покладу. Це, зокрема, свідчить про те, що водоносні комплекси Тимофіївського і Новотроїцького родовищ ізольовані один від одного, так як відстань між контурами їх нафтоносності становить порядку 3,8 км. І, навпаки, що нижньовізейсько-верхньодевонські об'єкти Тимофіївського (площа - 14,6 км<sup>2</sup>, поровий об'єм – 43,53 млн м<sup>3</sup>) і Куличихинського (площа - 2,14 км<sup>2</sup>, поровий об'єм – 11,54 млн м<sup>3</sup>) родовищ знаходяться в межах одного водоносного комплексу, оскільки відстань між їх контурами

нафтоносності коливається від 1,2 км до 2 км, в середньому складає 1,5 км. Зауважимо, що західна межа нижньовізейського об'єкта Куличихинського родовища і західна границя вміщуючого його водоносного комплексу контролюється Синівським соляним штоком.

Зіставлення площ і ефективних порових об'ємів експлуатаційних об'єктів Куличихинського і Тимофіївського родовищ з аналогічними параметрами вміщуючого їх нижньовізейсько-верхньодевонського водоносного комплексу свідчить про вельми обмежені площі розвитку останнього і дуже обмежених об'ємах пластової води, який він вміщує. Таку ситуацію можна пояснити тільки тим, що Куличихинсько-Тимофіївська ділянка нижньовізейсько-верхньо-девонського водоносного комплексу ізолювана по периметру від решти частини комплексу слабо або непроникними породами.

Авторами за результатами аналізу розробки групи верхньосерпуховських експлуатаційних об'єктів Котелевського, Березівського і Степового родовищ, що локалізуються в межах Котелевсько-Березівського валу ДДЗ і мають сумарну площу газоносності, що дорівнює 61 км<sup>2</sup>, були оцінені параметри вміщуючих їх водоносних комплексів за відсутності в останніх п'єзометричних свердловин. Виявилось, що всі об'єкти вміщує одна водонапірна система, що має площу 280 км<sup>2</sup> (довжина - 40 км, ширина - 7 км), середній поточний пластовий тиск в системі на 01.2014 р - 14 МПа (початковий - 50,6 МПа), геометричний поровий об'єм - 2800 млн м<sup>3</sup>, ефективний водонасичений поровий об'єм - 340 млн м<sup>3</sup>, середня ефективна водонасичена товщина - 10 м. На півночі і півдні валу система обмежена регіональними тектонічними порушеннями. На сході її межа проходить східніше Степового родовища: Кисівська і Краснокутська структури, швидше за все, локалізуються вже поза нею. На заході її кордон проходить по західному контуру Української структури. З наведених вище параметрів слідує, що стратиграфічно комплекс представлений тільки горизонтом С-5. Більше того. На більшості його ділянок і горизонт С-5 представлений не всіма літологічними пачками і пластами (не всією ефективною товщиною), що входять до його складу. Крім того, на контурі газоносності всіх трьох експлуатаційних об'єктів спостерігаються різні величини пластових тисків, що свідчить про диференціацію ФЄВ за площею водонапірної системи. Середнє значення коефіцієнта проникності в ній оцінюється величиною не більше  $0,01 \cdot 10^{-12}$  м<sup>2</sup> (10 мД), гідропровідності - не більше  $0,2 \cdot 10^{-6}$  м<sup>3</sup>/МПа·с, п'єзопровідності - не більше 0,06 м<sup>2</sup>/сек. Всі значення ФЄВ істотно

нижче, ніж на Куличихинсько-Тимофіївській ділянці нижньовізейсько-верхньодевонського водоносного комплексу.

Результати аналізу розробки верхньосерпуховських експлуатаційних об'єктів родовищ Котелевсько-Березівського валу свідчать про локалізацію всіх об'єктів в одній, істотно більш великій, але теж обмеженій ділянці верхньосерпуховського водоносного комплексу, границя ізоляції якого від решти частини водоносного комплексу проходить по периметру (контур) Котелевсько-Березівського валу.

Роз'єднаність по розрізу і площі глибокозалегаючих водоносних комплексів на ряд ізолюваних один від одного ділянок представляється системним явищем. Але, параметри ділянок завжди залишалися невідомими через відсутність методичної бази їх оцінки. З розробкою останньої з'явилася можливість оцінки, хоча б у першому наближенні, реальних параметрів водонапірних систем, що вміщують об'єкти розробки. Це дозволить істотно поліпшити якість розробки експлуатаційних об'єктів.

Закінчимо наступними основними висновками.

1. Запропонований метод оцінки параметрів водоносного комплексу за результатами даних розробки одного або групи експлуатаційних об'єктів, які вміщує водоносний комплекс. Метод базується на спільному вирішенні двох рівнянь пружного режиму фільтрації: В.Н. Щелкачова та Ван Евердінгена і Херста.

2. Метод дозволяє оцінювати середній поточний пластовий тиск комплексу, його ефективний водонасичений поровий об'єм, ефективну водонасичену товщину, площу, коефіцієнти п'єзопровідності, проникності і гідропровідності.

3. Найбільш принциповою ланкою методу є послідовне встановлення залежності між значеннями функції  $Q(f_0)$  - радіуса збільшеної свердловини - радіуса контуру водоносного комплексу - середніми поточними тисками у всьому водоносному комплексі та на границі розділу газ-вода, що дозволяє, в кінцевому підсумку, оцінювати інші параметри водоносного комплексу.

4. Метод дозволяє оцінювати ефективний поровий об'єм водонасиченого комплексу безпосередньо на базі величини його середнього поточного пластового тиску, а не шляхом оцінок його окремих параметрів методом, як правило, послідовних наближень.

5. Метод випробуваний на нижньовізейсько-верхньодевонському об'єкті Тимофіївського і Куличихинського родовищ та верхньосерпу-

ховському об'єкті розробки Котелевсько-Березівської зони ДДЗ.

#### Література

1. Щелкачев В. Н. Разработка нефтеводоносных пластов при упругом режиме [Текст] / В. Н. Щелкачев. – М.: Гостоптехиздат, 1959. – 467 с.
2. Закиров С. Н. Теория водонапорного режима газовых месторождений [Текст] / С. Н. Закиров, Ю. П. Коротяев., Р. М. Кондрат и др. – М.: Недра, 1976. – 240 с.
3. Кристеа. Н. Подземная гидравлика [Текст] / Н. Кристеа. – М.: Гостоптехиздат, 1961. – Т. 1. – 343 с.
4. Абеленцев В. М. Особливості обводнення газоконденсатних та нафтових покладів родовищ Дніпровсько-Донецької западини [Текст] / В. М. Абеленцев, А. Й. Лур'є, М. Ю. Несстеренко // Вісн. Харк. нац. ун-ту, № 1084. – 2013. – С. 9–14.

УДК 555.491.5(571.121)

\*Амджади Азиз, аспірант,

\*\*Д.Ф. Чомко, к.геол.н., доцент,

\*Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина,

\*\*Киевский национальный университет имени Т. Шевченко

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФАКТОРНОГО АНАЛИЗА ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ГРУНТОВЫХ ВОД В ШИРАЗСКОЙ И ХОРРАМАБАДСКОЙ МЕЖГОРНЫХ ВПАДИНАХ ИРАНА

*Сравнение условий формирования и загрязнения грунтовых вод двух больших межгорных впадин с использованием большого количества химических элементов и соединений (10 и более) очень трудная задача. Нами предложен новый способ, который базируется на использовании факторного анализа. Применение этого метода позволяет определять источники загрязнения грунтовых вод и сравнивать условия их формирования на разных территориях. Метод опробован при исследовании химического состава грунтовых вод Ширазской и Хоррамабадской межгорных впадин Ирана.*

**Ключевые слова:** Иран, Ширазская и Хоррамабадская межгорные впадины, грунтовые воды, химический состав, загрязнение, кластерный анализ.

*Амджади Азиз, Д.Ф. Чомко. ВИКОРИСТАННЯ ФАКТОРНОГО АНАЛІЗУ ПРИ ДОСЛІДЖЕННІ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ ГРУНТОВИХ ВОД В ШИРАЗЬКІЙ І ХОРАМАБАДСЬКІЙ МІЖГІРСЬКИХ ВПАДИНАХ ІРАНУ. Порівняння умов формування її забруднення грунтових вод двох великих між гірських впадин із використанням великої кількості хімічних елементів і сполук (10 і більше) дуже важка задача. Нами запропоновано новий спосіб, який базується на використанні факторного аналізу. Використання цього аналізу дозволяє викривати джерела забруднення грунтових вод і порівнювати умови їх формування на різних територіях. Метод випробування при дослідженні хімічного складу грунтових вод Ширазької і Хоррамабадської міжгірських впадин Ірану.*

**Ключові слова:** Іран, Ширазька і Хоррамабадська міжгірські впадини, ділянка, ґрунтові води, хімічний склад, забруднення, факторний аналіз.

#### Постановка проблемы.

Грунтовые воды Ширазской межгорной впадины широко используются для водоснабжения, в промышленности, для полива сельскохозяйственных культур и других целей. Грунтовые воды впадины в зоне питания имеют минерализацию до 1 г/дм<sup>3</sup>, а в зоне разгрузки минерализация заметно повышается, что связано с континентальным засолением и антропогенным загрязнением (удобрения, отходы химического производства и отливы из шахт). Грунтовые воды сульфатно-хлоридного кальциево-магниевого состава, удовлетворяющие питьевым нормам. Тип воды на северо-западе и на юго-востоке впадины гидрокарбонатный кальциево-магниевый. Грунтовые воды содержат также тяжелые металлы.

В настоящее время планируется более широко использовать и грунтовые воды Хоррамабадской впадины.

*Анализ публикаций и определение не решенных проблем.*

Геологическое строение и гидрогеологические условия Хоррамабадской межгорной впадины изучалась иранскими фирмами: (Сангаб, 2010г, 1980г.); (Абкав, 1970г.); (NKRC, 1995г., 1997г.) [5, 7]. Этими фирмами были построены геологическая и гидрогеологическая карты, изучен химический состав грунтового водоносного горизонта, определены гидрогеологические параметры водоносного горизонта. Большой вклад в изучение гидрогеологических условий Хоррамабадской межгорной впадины внесла кафедра гидрогеологии МГУ (Шестаков В.М.) [3].

Фирмы Сангаб (2010 г.), Абкав (1980г.), NKRC (1991г., 1996г., 1997г.), Махабкодс (1975г.) и Параб (1993г., 1997г.) [5-8] изучали геологическое строение и гидрогеологические условия, химический состав и гидрогеологические параметры грунтовых вод Ширазской межгорной впадины. Результаты этих исследований нашли свое отражение в таких публика-