

УДК 556.491:622

Гідродинамічне обґрунтування структури режимної спостережної мережі у гірничодобувних регіонах

Г. П. Євграшкіна, В. В. Проценко

Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро, Україна, e-mail: valkaz@ua.fm

Вивчення зміни режиму підземних вод у просторі і часі техногенно порушених територій відбувається на спостережній мережі свердловин. Вона є першою, обов'язковою і найбільш важливою складовою гідрогеологічного моніторингу кожного із трьох його рівнів – глобального, регіонального і локального. Попередні дослідження інших авторів для обґрунтування структури спостережної мережі мають рекомендаційний характер або базуються на методах математичної статистики. Запропоновані розробки мають гідродинамічне обґрунтування і базуються на теорії фільтрації і масопереносу. Наші доповнення до обґрунтування структури режимної спостережної мережі з мінімально достатньою кількістю свердловин із позиції найкращого використання результатів спостережень для достовірної оцінки геофільтраційних і міграційних параметрів полягають у наступному. Одиночна спостережна свердловина характеризує природний або порушений режим, гідрогеологічний процес в одній точці досліджуваної території і не є інформативною. За двома спостереженнями у просторі можливо побудувати пряму лінію, цього достатньо, якщо гідрогеологічний процес описується рівнянням Лапласа. Але геофільтраційні і міграційні процеси описуються більш складними рівняннями другого порядку в частинних похідних еліптичного і параболічного типів. Вони характеризують нелінійні процеси, тому мінімальна кількість спостережень у просторі та часі повинна бути не менше трьох у межах кожного досліджуваного об'єкта або елемента ландшафту (за потоком і вхрест підземних вод). Наведено приклади розв'язання інверсних міграційних і фільтраційних задач.

Ключові слова: режимна спостережна мережа, кінцево-різницеві схеми, фільтраційні і міграційні параметри, інверсні задачі

The hydrodynamic justification of the structure of the supervisory regim in mining regions

G. P. Yevgrashkina, V. V. Procenko

Oles Honchar Dnipropetrovsk National University, Dnipro, Ukraine

Study of changes in the groundwater regime in space and time on the technologically impaired territory is on the supervisory network of boreholes. This is the first mandatory and the most important part of the hydrogeological monitoring each of the three levels - global, regional and local. Previous studies made by other authors about justify the supervisory structure of the network has hydrodynamic rationale and based on the theory of mass transfer and filtration. Our additions to rationalisation of the supervisory structure of the regim minimally sufficient number of boreholes from the perspective of the best use of observations for reliable estimate geofiltrational and migration options are : single observational borehole characterize natural or disturbed mode, hydrogeological process at one point of the research area and it is not informative. With two observations in space it is possible to make a straight line, it is enough if hydrogeological process described by Laplace equation. But geofiltrational and migration processes are described by more complex equations of second order in partial derivatives of elliptic and parabolic types. They characterize the nonlinear processes, so the minimum number of observations must be at least three in space and time within each studied object or landscape elements (the flow and across groundwater). There are examples of solving inverse problems of migration and filtration. The hydrodynamic justification of the structure of the regime observations network enhances its scientific value and practical significance. This approach enables maximum accuracy to determine the filtration and migration parameters and solve the forecast problem for the scientific substantiation of a complex of environmental measures. The development of the theory of hydrogeological monitoring is ahead of its implementation, aimed at the result – sustainable use and protection of groundwater and surface water from pollution and depletion.

Keywords: supervisory regim, finite difference schemes, filtration and migration options, inverse problem.

Вступ. Режимна спостережна мережа спочатку була єдиною складовою гідрогеологічного моніторингу. В наш час вона залишилась його першою, обов'язковою і головною частиною. Принципи її розміщення і функціонування у гірничодобувних регіонах і на інших об'єктах антропогенно-

го впливу досить детально висвітлені у вітчизняній і світовій науковій літературі (Baer, 1998; Gamburtsev, 1994; Yevgrashkina, Shmalij, 1998; Izrajel', 1979; Kovalevskij, 1998; Mironenko, 1993; Tjutjunova, 1987; Carrera, Usunoff, Szidarovsky, 1984; Iawod, Hussien, 1988). Рекомендації щодо розміщення спостережної мережі мають описовий характер або базуються на математичній статистиці. Застосування гідродинамічних методів для обґрунтування структури режимної спостережної мережі запропоновано вперше. Такий підхід дає можливість із максимальною достовірністю визначати фільтраційні і міграційні параметри і розв'язувати прогностичні задачі для наукового обґрунтування комплексу природоохоронних заходів.

Теорія і методи досліджень. Основний принцип побудови режимної спостережної мережі за методикою, яка пропонується: мінімально достатній обсяг спостережень у просторі і часі повинен бути не менше трьох, оскільки одне спостереження не інформативне, з двох одне може бути помилковим. Якщо результати режимних спостережень використовуються для визначення геофільтраційних і міграційних параметрів, то кількість спостережних свердловин в одному елементі сітки, по одному напрямку також повинна бути не менше трьох. Наприклад, необхідно визначити коефіцієнт гідродисперсії D в однорідному шарі за усталеного режиму міграції речовини. Рівняння масопереносу для однієї токової лінії в цих умовах має вигляд (Brenner, 1962):

$$D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} - v \frac{\partial c}{\partial x} = 0, \quad (1)$$

де D – коефіцієнт гідродисперсії, м²/доб.;

C – мінералізація підземних вод, г/дм³;

v – швидкість фільтрації, м/доб.;

x – просторова координата, м.

Аналітичне розв'язання цього рівняння відносно параметра D запропонував М. М. Верігін (Verigin, 1977):

$$D = \frac{v \Delta x}{\ln(\bar{C}-1)}, \quad \bar{C} = \frac{C_1 - C_3}{C_1 - C_2}, \quad (2)$$

де C_1, C_2, C_3 – мінералізація підземних вод у трьох точках підземного потоку, розташованих на відстані Δx одна від іншої, м.

Застосування аналітичного рішення (2) можливе тільки за однакових відстаней між трьома спостережними свердловинами.

Якщо для визначення геофільтраційних і міграційних параметрів використовується кінцево-різницева форма диференціальних рівнянь, то мінімальна кількість спостережних свердловин по кожному елементу досліджуваного профілю також повинна бути не менше трьох. Наприклад, одновимірне рівняння масопереносу в неусталеному режимі з постійними коефіцієнтами:

$$D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} - v \frac{\partial c}{\partial x} = n \frac{\partial c}{\partial t}. \quad (3)$$

Для розв'язання відносно параметра D представляємо у кінцево-різницевої формі:

$$D \left(\frac{C_1^T - C_2^T}{(\Delta x)^2} - \frac{C_2^T - C_3^T}{(\Delta x)^2} \right) v \frac{C_1^T - C_3^T}{2 \Delta x} = n \frac{C_2^{T+1} - C_2^T}{\Delta t}, \quad (4)$$

де $C_1^T, C_2^T, C_3^T, C_2^{T+1}$ – відома мінералізація підземних вод у трьох свердловинах на два моменти часу t і $t+1$, г/дм³;

n – активна пористість, частки одиниці;

Δt – крок за часовою координатою, діб.

Якщо відстані між свердловинами не однакові, то рівняння (3) у кінцево-різницевої формі має вигляд:

$$D \left(\frac{C_1^T - C_2^T}{\Delta x_{1,2}} - \frac{C_2^T - C_3^T}{\Delta x_{2,3}} \right) : \frac{\Delta x_{1,2} + \Delta x_{2,3}}{2} - v \frac{C_1^T - C_3^T}{\Delta x_{1,2} + \Delta x_{2,3}} = n \frac{C_2^{T+1} - C_2^T}{\Delta t}, \quad (5)$$

де $\Delta x_{1-2}, \Delta x_{2-3}$ – відстані між свердловинами, м.

Інші позначення наведені раніше.

Для змінної у просторі швидкості фільтрації v і коефіцієнта гідродисперсії D для розв'язання інверсної задачі використовуємо рівняння:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial c}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial x} (vC) = m \frac{\partial c}{\partial t}. \quad (6)$$

У наступній кінцево-різницевої формі:

$$\left(\frac{D_{i-1} + D_i}{2} \cdot \frac{C_{i-1}^T - C_i^T}{\Delta x} - \frac{D_i + D_{i+1}}{2} \cdot \frac{C_i^T - C_{i+1}^T}{\Delta x} \right) : \Delta x - v_i \frac{C_{i+1}^T - C_i^T}{\Delta x} + C_i^T \frac{v_{i-1} - v_{i+1}}{\Delta x} = m \frac{C_i^{T+1} - C_i^T}{\Delta t}, \quad (7)$$

де D_{i-1}, D_i, D_{i+1} – коефіцієнти гідродисперсії у розрахункових точках $i-1, i, i+1$, м²/доб.;

v_{i-1}, v_i, v_{i+1} – швидкості фільтрації, м/доб.

Інші позначення наведені у попередньому тексті.

Швидкості фільтрації розраховуємо за даними режимних спостережень. Параметри D_{i-1}, D_i, D_{i+1}

визначаємо із системи трьох рівнянь на різні періоди часу (Yevgrashkina, 2016).

Приклад інверсної фільтраційної задачі. Для визначення інфільтраційного живлення у фільтраційно-однорідному безнапірному водоносному шарі на горизонтальному водотриві (площина порівняння вибрана по водотриву) розв'язується параболічне рівняння:

$$T \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + W = \mu \frac{\partial h}{\partial t} \quad (8)$$

відносно параметра W у кінцево-різницевої формі [3]:

$$W = \mu \frac{h_2^{\tau+1} - h_2^\tau}{\Delta t} - T \quad (9)$$

або

$$W = \mu \frac{h_2^{\tau+1} - h_2^\tau}{\Delta t} - T \left(\frac{h_1 - h_2}{\Delta x_{1,2}} - \frac{h_2 - h_3}{\Delta x_{2,3}} \right) : \frac{\Delta x_{1,2} + \Delta x_{2,3}}{2}, \quad (10)$$

де T – водопровідність, м²/доб;

$h, h_1^\tau, h_2^\tau, h_3^\tau, h_2^{\tau+1}$ – потужність водонасиченої частини водоносного горизонту в загальному вигляді та у свердловинах 1, 2, 3 на часові моменти τ і $\tau + 1$;

W – інфільтраційне живлення, м/доб;

μ – коефіцієнт гідроємності, частки одиниці;

x – просторова координата, м;

t – часова координата, діб;

$\Delta x, \Delta x_{1,2}, \Delta x_{2,3}$ – відстані між свердловинами, м;

Δt – інтервал спостережень у часі, діб.

Для похилого водотриву рівняння записується у повних гідродинамічних напорах і розв'язується аналогічно (Izrael', 1979). Якщо необхідно врахувати фільтраційну анізотропію, розв'язується двовимірне рівняння фільтрації за даними п'яти свердловин:

$$\frac{\partial^2 H}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 H}{\partial y^2} + \frac{W}{T} = \frac{1}{a} \cdot \frac{\partial H}{\partial t}. \quad (11)$$

Методика розрахунків детально описана В. М. Шестаковим (Shestakov, 1979), тому тут не розглядається.

На основі вищевикладеного побудовано режимну спостережну мережу біля ставків-накопичувачів у Західному Донбасі (рис.). Свердловини розташовані групами по три на рівних відстанях одна від одної. Для ставка Балка Таранова вона дорівнює 100 м.

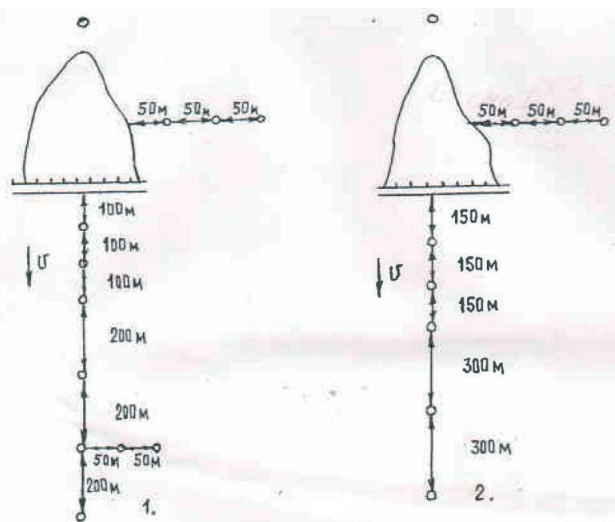


Рис. 1. Фрагменти схем розміщення спостережної мережі:
1 – ставок-накопичувач Балка Таранова;
2 – ставок-накопичувач Балка Стуканова.

Таке розташування дозволяє використати для розрахунків параметра D формулу (2) і рівняння (4). По три спостережні свердловини розташовані перпендикулярно основному напрямку потоку підземних вод на відстані 50 м, тому що складові швидкості фільтрації у цьому напрямку значно нижчі.

Для хвостосховища Балка Стуканова відстані між свердловинами більші. На територіях, прилеглих до інших ставків, залишилися схеми попередніх авторів. Вони спроможні виконувати тільки контрольну функцію.

Висновки

1. Режимна спостережна мережа – перша, головна й обов'язкова складова всіх видів гідрогеологічного моніторингу на техногенно порушених територіях.

2. Результати режимних спостережень доцільно використовувати комплексно – контроль, епігноз, початкові дані для інверсних і прямих прогностичних задач, результати яких є науковим обґрунтуванням природоохоронних задач гідрогеологічного спрямування.

3. Гідродинамічне обґрунтування структури режимної спостережної мережі підвищує її наукову цінність і практичну значимість.

4. Розробка теорії гідрогеологічного моніторингу випереджає її практичне здійснення, направлене на кінцевий результат – раціональне використання і охорону підземних й поверхневих вод від забруднення і виснаження.

5. Актуальна проблема сучасності в системі гідрогеологічного моніторингу – розвиток стратегії боротьби за якість підземних вод.

Бібліографічні посилання

- Baer, R. A., 1998. Jekologo-meliorativnyj monitoring v Ukraine, principy ego organizacii i osnovnye zadachi [Ecological and melioration monitoring in Ukraine, the principles of its organization and main tasks]. Interational conference «Environmental problems in irrigation and drainage» – 41 K: 44 – 45, (in Russian).
- Brenner H., 1962. The diffusion model of longitudinal mixing in beds of finite length. Numerical values. – Chemical Engineering Science, №4, 81.
- Carrera Jesus, Usunoff Eduardo, Szidarovsky Ferenc, 1984. A method for optimal observation network desing, for groundwater management I. Hydrol. — Vol. 73, № 1–2. 147 – 163.
- Gamburtsev, A. G., 1994. Konceptcija monitoringa prirodno-tehnicheskikh. [The concept of monitoring of natural-technological systems]. Geoecology. M.: Nauka, 12–19, (in Russian).
- Iawod Sadik B., Hussien Koram A. 1988. Groundwater monitoring network rationalization using statistical analyses of piesometric fluctuation. Hydrol. Sci. I. — Vol. 33, №2, 181 – 191.
- Izrael', Ju. A., 1979. Global'naja sistema nabljudenij: prognoz i oценка izmenenij sostojanija okruzhajushhej sredy. Osnovy monitoringa. [Global Observing System: forecast and assessment of environmental changes. Based monitoring]. Meteorology and hydrology. Moscow, 7, 54–67, (in Russian).
- Kovalevskij, V. S., 1998. Principy optimizacii monitoringa podzemnyh vod [Principles of optimization of groundwater monitoring]. Geoecology. – M.: Nauka, №. 21 – 32, (in Russian).
- Mironenko, V. A., 1993. O koncepcii gosudarstvennogo gidrogeologicheskogo monitoringa [About the state of concept hydrological monitoring]. Geoecology. M.: Nauka, №1, 19 – 29, (in Russian).
- Samarskij, A. A., 1977. Teorija raznostnyh shem [The theory of difference schemes]. M.: Nauka, 653, (in Russian).
- Shestakov, V. M., 1979. Dinamika podzemnyh vod [The dynamics of groundwater]. Moscow, 368, (in Russian).
- Tjutjunova, F. M., 1987. Gidrogeohimija tehnogeneza [Hydrogeochemistry technogenesis]. M.: Nauka, 375, (in Russian).
- Verigin, N. N., Vasil'ev, S. V., Sarkisjan, V. S., Sherzhukov, B. S., 1977. Gidrodinamicheskie i fiziko-himicheskie svojstva gornyh porod [Hydrodynamic and physical and chemical properties of rocks]. M.: Nedra, 271, (in Russian).
- Yevgrashkina, G. P., 2003. Vlijanie gornodobyvajushhej promyshlennosti na gidrogeologicheskie i pochvenno-meliorativnye uslovija territorij [The impact of mining on the hydrogeological and soilreclamation conditions of the territory]. Dnipropetrovsk, Monolit, 200, (in Russian).
- Yevgrashkina, G. P., Shmalij, T.I., 1998. Klassifikacija gidrogeologicheskikh prognozov i organizacija nabljudenij za rezhimom podzemnyh vod v uslovijah tehnogeneza [Classification of hydrological forecasts and the organization of observations of the groundwater regime in technogenesis] Visn. Dnipropetr. Univ. Ser. Geology. Geography. 2, 62 – 65, (in Russian).
- Yevgrashkina, G. P., Kalinkina, O. E., Procenko, V. V., 2016. Udoskonalennja koncepcii suchasnogo gidrogeologichnogo monitoringu lokal'nogo rivnja [Improvement of the concept of modern hydrogeological monitoring local level]. Visn. Dnipropetr. Univ. Ser. Geology. Geography. 24(1), 28 – 31 (in Ukrainian).

Надійшла до редколегії 13.10.2016