

Вплив літологічного вікна на продуктивність водозабірних свердловин *Ю.М.Пікуль, Київський національний університет будівництва і архітектури*

Під літологічними вікнами розуміють локальні ділянки водоносної породи у майже непроникних породах, що поділяють водоносні горизонти, через які відбувається перетікання підземних вод з одного водоносного шару до іншого.

Смугоподібні літологічні вікна можуть виникати під впливом ерозійної діяльності річок, давніх тектонічних процесів (скидів, насувів, розломів).

У зонах тектонічного подрібнення провідність поділяючого водотривкого шару може бути значно підвищена в результаті заміщення водотривких відкладень більш проникними породами, що й призводить до утворення смугоподібних літологічних вікон.

Згідно до теоретичних висновків Ф.М.Бочевера, додаткове живлення водозаборів через літологічне вікно, може повністю компенсувати відбір підземних вод при водопровідності живлячого шару набагато більшої за водопровідність основного та при високій водовіддачі живлячого шару. Тоді літологічне вікно можна розглядати як джерело, або межу з постійним напором а розрахунки проводити за залежностями усталеного режиму фільтрації.

При дослідженні роботи свердловин розміщених поблизу з різними літологічними вікнами (круглястими, смугоподібними), зокрема Лапшиним Н.Н., було зроблено припущення, що живлення експлуатаційного шару через вікно, яке являє собою площину з постійним напором, відбувається рівномірно по всій потужності водоносного горизонту.

Проте, фактично при перетіканні через вікно потік повинен долати додатковий опір через шар порід, що складає літологічне вікно.

Величина такого опору у загальному випадку буде залежати від порід що складають вікно, їх водопроникності, конфігурації та розмірів вікна, досконалості його урізу у водотривкий прошарок, що пов'язано з закальматованістю, закарстованістю та розмитістю водотривкого прошарку на ділянці зосередженого живлення.

Для врахування впливу гідрогеологічних характеристик смугоподібних вікон на дебіт свердловин в усталеному режимі нами було складено математичну модель основану на методі рішень гідромеханічних задач фільтрації (притоку) до лінійного стоку та відтоку від лінійного джерела яке приймалось у якості моделі літологічного вікна.

Отримані результати свідчить про подібність процесів фільтрації до водозаборів розміщених поблизу з відкритими джерелами (каналами, водоймами, водосховищами) та водозаборів розміщених поблизу лінійного літологічного вікна при постійному напорі на межі зосередженого живлення.

Таким чином, врахування додаткового опору вікна є еквівалентним до врахування загального опору на недосконалість ΔL (або Φ) при фільтрації з водойми чи каналу.

Практичні рекомендації щодо врахування опору смугоподібного вікна в усталеному режимі основані на існуючих теоретичних рішеннях різних авторів, отриманих методом фільтраційних опорів, представлені раніше.

Особливість вказаних розрахунків полягає в необхідності врахування загального опору на недосконалість межі живлення ΔL .

За більш складною схемою фільтрації з виділенням двох додаткових опорів $\Delta L'$ і $\Delta L''$ розраховують джерела додаткового живлення (канали, водойми, водосховища чи літологічні вікна) коли їх ширина буде більшою приблизно половини потужності шару в якому вони знаходяться, тобто $B_k > 0,5m_g$.

Для джерел невеликих розмірів $B_k < 0,5m_g$, горизонтальний опір $\Delta L'$ стає малим таким чином, що врахування опору на недосконалість джерела виконують за спрощеною схемою з використанням опору $\Delta L \approx \Delta L''$.

Для більш простих схем відтоку від джерела живлення (одно- та двостороннього симетричного відтоку від джерела живлення що має значну ширину $B_k > 2m_g$) можна знехтувати взаємовпливом потоків на протилежній від водозабору межі джерела живлення, $\Delta L'' = 0$, та наближено враховувати опір порід що складають вікно зміщенням його урізу на величину $\Delta L \approx \Delta L'$.

Для лінійних джерел середніх розмірів у розрахунках враховують два опори, $\Delta L = \Delta L' + \Delta L''$:

$$\Delta L' = \xi_0 \frac{k_1}{k_2} m f'_k + \frac{k_2 - k_1}{k_2} m_g f'_{k_2}, \quad (1)$$

$$\Delta L'' = \zeta_0 \frac{k_1}{k_2} m f''_k + \frac{k_2 - k_1}{k_2} m_g f''_{k_2}; \quad (2)$$

де
$$f'_{k_i} = \frac{B_k}{2m_i} - 1,4661 \text{g ch} \frac{\pi B_k}{4m_i}, \quad (3)$$

$$f''_{k_i} = 0,7331 \text{g cth} \frac{\pi B_k}{4m_i}; \quad (4)$$

де ξ_0 та ζ_0 - виправочні коефіцієнти, визначають з графіків, при $\lambda = \frac{k_1 - k_2}{k_1 + k_2} \leq 0$ приймають $\xi_0 = 1$ та $\zeta_0 = 1$; k_2 та k_1 - відповідно, коефіцієнт фільтрації порід що складають вікно та основного водоносного шару, м/доб; f'_k, f''_k та f'_{k_2}, f''_{k_2} - безрозмірні складові опору на недосконалість смугоподібного літологічного вікна відповідної потужності $m = m_1 + m_2$ та $m_2 = m_g + h_g$, м; m_g - потужність порід на ділянці літологічного вікна, м; B_k - ширина (розкритість) вікна, м.

Наведені залежності можна використовувати при розміщенні водозаборів на відстані $L \geq 2m_g$ до джерела живлення.

Для широких лінійних джерел $B_k \geq 2m_g$, вважають $\Delta L'' \approx 0$, а опір $\Delta L'$ розраховують по спрощеним формулам.

Наближено ці опори можна знайти за наступними залежностями

$$\text{при } \frac{k_1}{k_2} \geq 10, \quad \Delta L = \Delta L' = \sqrt{\frac{k_1 m_1 m_g}{k_2}}; \quad (5)$$

$$\text{при } 1 < \frac{k_1}{k_2} < 10, \quad \Delta L = 0,5 \left(m_1 + m_g \sqrt{\frac{k_1}{k_2}} \right); \quad (6)$$

$$\text{при } \frac{k_1}{k_2} \leq 1, \quad \Delta L = 0,5 \left(m_g + m_1 \frac{k_1}{k_2} \right). \quad (7)$$

Формула для визначення питомого (чи погонного) притоку до лінійного (нескінченного) ряду свердловин розміщеного паралельно до лінійного джерела живлення, мІ/доб, має вигляд:

$$q = \frac{Q}{\sigma} = \frac{TS}{L + \Delta L + \Phi_p}, \quad (8)$$

де Q - витрата однієї свердловини ряду, мІ/добу; σ - відстань між свердловинами ряду, м; T - середня провідність водоносної товщі,

$$T \approx k_2 m_2 + k_1 m_1, \text{ мІ/доб};$$

h_0 - глибина рівня підземних вод, м, відлічена від лінії поділу шарів; Φ_p - фільтраційний опір лінійного ряду недосконалих свердловин, м, для двошарового та однорідного складу порід:

$$\Phi_p = \sigma \left(0,3661g \frac{\sigma}{2\pi r_c} + \Phi \right); \quad (9)$$

де r_c - радіус свердловини, м; Φ - опір на недосконалість свердловини ряду у однорідному шарі потужністю m_1 , м; для досконалих свердловин ряду, $\Phi = 0$.

Слід зауважити, що усталений режим може тривати при роботі свердловин з витратою меншою чи рівною за витрату додаткового джерела живлення $Q_c \leq Q_s$, за рахунок часткового зменшення природного розвантаження від впливу джерела живлення – інверсії розвантаження.

Тоді, при постійному напорі на ділянці вікна, коли $k_1 \leq k_2$, ширина вікна майже не впливає на роботу свердловини, значний вплив на дебіт свердловини в усталеному режимі має значення водопровідності порід що складають літологічне вікно.

Якщо ж дебіт свердловини буде більшим за додаткову витрату, що притікає через літологічне вікно, $Q_c > Q_s$, на ділянці вікна може відбутися відрив рівня, та додаткове живлення водозабору буде відбуватися частково і мати місце неусталений режим фільтрації, але пониження на свердловині буде меншим ніж при відсутності літологічного вікна.

Згідно до наших теоретичних висновків, характеристики вікна (ширина, коефіцієнт фільтрації та ін.) будуть впливати на величину додаткового живлення водозаборів в неусталеному режимі фільтрації.

Для перевірки даного припущення використаємо результати моделювання, в якому досліджувався вплив недосконалої річки на дебіт ряду свердловин великої довжини, що працює з постійною витратою.

Рішення задачі для симетричної схеми фільтрації, у нашому випадку, записане для питомої витрати ряду свердловин q , мІ/доб, має вигляд

$$q = \frac{Q}{\sigma} = \frac{Sk_1 m_1}{L(R_1 + R_2)}, \quad (10)$$

де

$$R_1 = \frac{\sqrt{a_1 t}}{L} \left[\operatorname{ierfc} \left(\frac{|L-x|}{2\sqrt{a_1 t}} \right) - \operatorname{ierfc} \left(\frac{L+x}{2\sqrt{a_1 t}} \right) \right]; \quad (11)$$

$$R_2 = \frac{1}{\alpha L} \left[\operatorname{erfc} \left(\frac{L+x}{2\sqrt{a_1 t}} \right) - e^{\alpha(L+x) + \alpha^2 a_1 t} \operatorname{erfc} \left(\frac{\alpha a_1 t}{L} + \frac{L+x}{2\sqrt{a_1 t}} \right) \right]. \quad (12)$$

де x - координата точки області фільтрації, м; t - тривалість експлуатації, діб; a_1 - п'єзопровідність основного водоносного шару, мІ/доб, потужністю m_1 , м;

$$\alpha = 1/\Delta L,$$

ΔL - опір що враховує недосконалість джерела, визначається з (1-7).

Функції R_1 за формулою (11) враховує основний гідравлічний опір при роботі лінійного водозабору поблизу з досконалим джерелом живлення.

Функції R_2 , виразу (12) представляє собою додатковий гідравлічний опір, обумовлений недосконалістю джерела живлення (закарстованістю, закальматованістю, неоднорідністю чи розмитістю).

Для визначення середнього зниження на лінії свердловин $s_c(L,t)$ у формулах (11) та (12) слід прийняти $x = L$.

При наявності на ділянці літологічного вікна порід з коефіцієнтом фільтрації $k_2 < k_1$ опір на межі часу ($t \rightarrow \infty$) збільшиться на величину $\frac{1}{\alpha L}$, яка не залежить від часу, і тоді для визначення зниження s будемо мати:

$$\text{при } x < L, \quad s = \frac{q(x+L)}{k_1 m_1}; \quad (13)$$

$$\text{при } x \geq L, \quad s = \frac{q(L+\Delta L)}{k_1 m_1}. \quad (14)$$

При відсутності джерела живлення, тобто для необмеженого водоносного горизонту ($B_k=0$), на межі ряду свердловин середнє зниження рівня визначається наступною залежністю

$$s = \frac{q}{k_1 m_1} \sqrt{\frac{a_1 t}{\pi}}. \quad (15)$$

Для визначенні зниження безпосередньо на лінії досконалих чи недосконалих свердловин потрібно до пониження отриманого по формулам (13-15), при $x = L$, додати величину рівну:

$$\Delta s = \frac{Q}{\sigma k_1 m_1} \Phi_p, \quad (16)$$

де Φ_p - визначається з (9).

У випадку роботи ряду свердловин радіусу $r_c=0,1$ м розміщених на відстані $L=250$ м від смугоподібного джерела, з характеристиками $k_2=1,0$ мІ/доб; $m_e=10$ м та різній його ширині $B_k=0; 5; 10; 25; 50; 100$ м, неоднорідність складу порід вікна та його ширину враховуємо за формулами (1-7), параметрах основного шару $k_1=5$ мІ/доб, $m_1=15$ м, $a_1=2500$ мІ/доб, пониженні на свердловинах $s = s(L,t)=5$ м, на термін $t=200$ діб, виконані розрахунки витрат q , мІ/доб, за залежностями (10-12), коли $x = L$, розрахунки зведено до табл.1.

Аналіз табл. 1 підтверджує сформульовані нами висновки, а саме: внаслідок роботи водозаборів, у початковий період часу, ширина джерела (літологічного вікна) B_k може впливати на продуктивність водозаборів, проте протягом часу цей вплив буде незначним.

Таблиця 1

Витрата q , мІ/доб, при B_k , м

0	5	10	25	50	>100
0,94	1,56	1,62	1,68	1,70	1,72

Вплив літологічного вікна на зниження рівня на свердловині протягом часу можна показати порівнявши їх з аналогічним зниженням визначеним у випадку відсутності вікна.

До табл. 2 зведені розрахунки понижень на свердловині при $q=1,5$ мІ/доб, ширині вікна $B_k=2,5$ м (так як $B_k/m_e=0,25 < 0,5$ то $\Delta L \approx \Delta L''$ опір ΔL визначаємо за формулою (1)), на час $t=50; 100; 200; 400; 600$ діб; інші вихідні дані взяті попередніх розрахунків.

Таблиця 2

	Зниження S , м, при t , діб				
	50	100	200	400	600
За формулою (10)	3,63	4,52	4,94	5,62	5,84
За формулою (15)	3,99	5,64	7,98	11,28	13,82

Таким чином, врахування опору вікна при розрахунках водозабірних свердловин є важливою інженерною задачею.

Розглянутий метод розрахунку лінійного ряду досконалих чи недосконалих свердловин поблизу з смугоподібним вікном, враховує недосконалість джерела зосередженого живлення усталеному та неусталеному режимах фільтрації при постійному напорі на межі вікна.

Вплив літологічного вікна на продуктивність підземних водозаборів, за аналогією до розосередженого додаткового живлення, можна вважати задовільним при $k_2/m_e > 0,005$.