

УДК 502.654

ВПЛИВ ПЛАСТОВИХ ВОД ПІВНІЧНО-ДОЛИНСЬКОГО НАФТОГАЗОКОНДЕНСАТНОГО РОДОВИЩА НА ДОВКІЛЛЯ

¹ Я.М. Семчук, ² Б.Ю. Депутат, ¹ І.О. Камасва

¹ ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42196,
e-mail: public@nuing.edu.ua

² ВАТ “Укрнафта”, Долинський газопереробний завод, 77503, м. Долина, вул. Підлівче, 63,
тел. (03477) 25260, e-mail: dgpz@dngvukrناfta.com

Рассмотрены источники и пути солевого загрязнения грунтовых вод пластовыми водами при эксплуатации нефтяных и газовых месторождений. Показаны масштабы загрязнения вод в населенных пунктах в пределах Северо-Долинского нефтеконденсатного месторождения. Указаны основные направления локализации и ликвидации ареалов солевого загрязнения подземных вод. Для определения минерализации подземных вод в пределах распространения солевого ареала приведено решение уравнения баланса массы растворенного вещества в элементе пласта методом конечных разностей.

Sources are considered those ways of salt contamination of ground waters by layer waters during exploitation of and gases oilfields. The scales of contamination of waters are rotined at settlements within the limits of North-Dolynske oil-condensate deposit. Indicated basic direction of localization and liquidation of natural habitats of salt contamination of underwater.

Вплив нафти та нафтопродуктів на довкілля досліджувалося та описано у багатьох роботах: Л.Г.Телегіна та Б.І.Кіма [1], Я.М.Семчука та Р.М.Говдяка [2], А.М.Васильєва[3] та ін. Впливу пластових вод на навколишнє середовище приділено ще мало уваги, хоча цей вид забруднення більш масштабно може змінювати стан екосистем, ніж нафтопродукти. Тому метою даної статті є дослідження та висвітлення деяких аспектів даної проблеми.

Відомо, що нафта, конденсат та природний газ добувають у складі суміші з пластовими водами, які представлені у більшості випадків водами з мінералізацією до 50 г/дм³ або розсолами з мінералізацією більше цієї величини (за класифікацією Курнакова-Валяшко). Об'єм пластових вод при видобутку вуглеводнів може коливатися від декількох до 75 відсотків.

Забруднення довкілля пластовими водами у районах видобутку нафти і газу може відбуватися різними шляхами та від різних джерел, які умовно можна поділити на 3 групи, а саме: постійно- і періодичнодіючі та аварійні:

– постійнодіючі джерела — ставки додаткового відстоювання та шламонакопичувачів;

– періодичнодіючі — аварійні амбари, установки для підготовки нафти і води, насосні станції, дощові та снігові води, що переносять забруднюючі речовини з промислових майданчиків;

– аварійні джерела є нафтогазоконденсатопроводи при їх відмовах, свердловини, які служать для захоронення попутно-промислових вод та підтримки пластового тиску.

Загалом, забрудненням пластовими водами піддаються такі компоненти довкілля, як ґрунти, поверхневі та підземні води. Залежно від джерел розміщення розрізняють два види засолення: поверхнєве — при відмові трубопрово-

дів, що транспортують вуглеводневі суміші з пластовими водами, та глибинне — за рахунок їх витоку із експлуатаційних та нагнітальних свердловин.

Проблема сольового забруднення пластовими водами ґрунтових вод виникла у межах Північно-Долинського нафтогазоконденсатного родовища, де застосовують систему для підтримки пластового тиску. Пластові води вигодської, поляницької, бистрицької та середньоменлітової світ родовища (табл. 1) являють собою мінералізовані води з мінералізацією 40,21 г/дм³ (св. 163) та розсолами з мінералізацією 157,98 г/дм³ (св. 180). У більшості випадків підземні води належать до хлоркальцієвого типу.

При гідравлічному розриві пластів мінералізовані води і розсоли внаслідок порушення герметичності за колонного простору проникли в основний водоносний горизонт, води якого використовувались для питного водопостачання навколишніх сіл Яворів та Гузіїв. Водовміщуючі відклади горизонту представлені гравієм, галькою, валунами з піщаним та супіщано-суглинним заповнювачем. Потужність водоносного горизонту змінюється від 4-6 м. до 9-11 м., глибина залягання 8-10 м. Водозбагаченість алювіальних відкладів (питомі дебіти свердловини від 4-15 до 50 м³/добу) і їх фільтраційні властивості (коефіцієнт фільтрації 0,1-7 м/добу) змінюються у широких межах залежно від гранулометричного складу водовміщуючих ґрунтів. За хімічним складом води — сульфатного типу, іноді хлоридного. Мінералізація вод 0,6-0,9 г/дм³. Алювіальний водоносний горизонт одержує живлення переважно за рахунок атмосферних опадів на площі розповсюдження алювію, особливо в місцях, де він виходить на земну поверхню, а також живиться водами рік

Таблиця 1 — Хіміко-фізичні властивості пластових вод Північно-Долинського нафтогазоконденсатного родовища

№ свердловин	Світа, підвіта	Густина води в стандартних умовах, кг/м ³	Вміст іонів, мг/дм ³									Тип води за Суллім	Загальна мінералізація, мг/дм ³
			Na ⁺ +K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	CO ₃ ⁻	HCO	j	Br		
162	вигодська	1050,2	5368,0	1002,0	1824,0	42600,0	2211,6	—	585,6	—	—	хлор-кальцевий	53491,2
163	вигодська	1028,1	13382,25	601,2	486,4	13920,2	4263,1	—	7564,0	—	—	хлор-кальцевий	40217,15
164	вигодська	1044,0	24240,40	1703,4	—	33455,2	3729,8	600	3294,0	—	—	сульфатно-натрієвий	67022,8
167	вигодська	1033,0	19822,32	59,99	14,99	887,65	3,66	—	9,6	—	—	сульфатно-натрієвий	20798,21
174	вигодська	1030,0	—	929,8	175,1	26595,0	108,64	—	305,1	—	—	хлор-кальцевий	28113,64
177	поляницька	1022,1	10085,28	801,6	304,9	12876,2	3561,90	—	2928,0	—	—	сульфатно-натрієвий	31579,98
178	бистрицька	1095,0	47231,04	4008,0	3648,0	86158,50	1134,8	—	178,40	6,76	—	хлор-кальцевий	142365,5
179	бистрицька	1093,2	44855,75	4008,0	8168,0	85296,91	182,04	—	695,4	16,92	—	хлор-кальцевий	143222,97
180	бистрицька	1106,0	50833,2	8016,0	2432,0	95770,12	553,03	—	292,5	21,57	66,59	хлор-кальцевий	157985,01
182	середньо-меніптова	1055,3	24745,92	5010,0	2432,0	51695,1	559,64	—	633,2	19,46	15,58	хлор-кальцевий	2529956,9
184	вигодська	1097,3	53584,16	4959,9	729,6	89185,23	432,89	—	963,8	38,02	185	хлор-кальцевий	192934,71

Таблиця 2 — Хімічний склад ґрунтових вод у криницях населених пунктів с. Яворів (я) та с. Гузіїв (г)

Номер криниць	Аніони, мг/дм ³			Катіони, мг/дм ³			Мінералізація, мг/дм ³
	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	K ⁺ + Na ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	
1я	1282.78	95.46	73.20	452.91	54.72	321.64	2280.71
15 я	1476.09	173.65	61.0	560.97	62.62	356.70	2691.03
20 я	1096.52	140.32	85.4	493.75	24.32	264.52	2104.83
124 я	1300.35	771.50	640.50	1013.75	79.05	330.65	4135.80
130 я	2298.48	232.08	183.00	786.24	127.68	589.17	4216.65
133 я	3584.70	309.84	183.01	1372.20	145.92	829.50	6425.17
140 я	1644.78	210.48	128.10	740.62	36.48	396.78	3157.24
10 г	492.00	954.61	976.01	739.00	—	60.08	3221.7
12 г	2178.75	621.35	488.00	125.760	79.00	470.90	3963.76
19 г	2003.25	8497.05	427.10	1385.80	91.21	400.81	12805.22
31 г	1096.52	140.32	85.40	493.75	24.32	264.52	2104.83
40 г	1194.9	103.28	61.0	457.40	48.64	276.50	2141.72
55 г	766.16	77.36	61.0	262.08	42.56	196.39	1405.55
ГДК, мг/дм ³	250	250	30	250	40	180	1000

Сівки, Свічі, Саджовки в період повені.

Нашими дослідженнями зафіксовано два ареали сольових забруднень ґрунтових вод. Перший ареал зафіксовано у селі Яворів. Ареал витягнутий у північно-західному напрямку, тобто у напрямку руху ґрунтових вод. Гідрохімічним опробуванням вод у криницях, встановлено, що загальна мінералізація їх перевищує ГДК у 6 разів і більше (табл. 2), криниця св.133я. Особливо води забруднені такими шкідливими речовинами, як іонами Cl⁻, SO₄²⁻. Значні масштаби сольового забруднення призвели до неможливості їх використання, а тому було прийнято рішення забезпечити населення прісною водою централізовано.

Другий ареал сольового забруднення вод встановлений гідрохімічним дослідженням у селі Гузіїв. Ареал витягнутий у північно-західному напрямку. Мінералізація вод у криницях досягає 5 г/дм³ (криниця №19Г); води хлоридного типу.

У теоретичному плані формування ареалу сольового забруднення у ґрунтових водах відіграють роль такі фізико-хімічні процеси, як конвективний перенос солей разом з водою – і дифузійним перенос їх при наявності градієнта концентрації; роль цих процесів може бути будь-якою залежно від швидкості фільтрації, градієнта концентрації та інших обставин. Міграція солей супроводжується розсіюванням (дисперсією) солей і може ускладнюватись сорбцією, окисленням, відновленням та іншими процесами фізико-хімічних змін речовин, зумовлених взаємодією ґрунтів з підземними водами.

Переважно розглядаються дві основні моделі розсіювання солей, які призводять до різних схем міграцій. У першій моделі причиною

розсіювання є нерівність локальних швидкостей конвективного потоку у пористому середовищі (на прикладі моделі капілярів).

У другій моделі причиною розсіювання є розгалуження та злиття елементарних струминок при обтіканні зерен ґрунтів. Тому модель розсіювання призводить до схеми формування ареалів, у середині яких розподіл концентрації може бути стаціонарним або квазістаціонарним. У цій моделі розсіювання (дисперсії) описується виразом, аналогічним дифузійному члену, але з коефіцієнтом дисперсії $D_{x,y,z}$, залежним від координат. Враховується також поданням D у вигляді

$$D_{x,y,z} = D_0 + \delta v_0, \quad (1)$$

де: δ – параметр структури ґрунту;
 v – швидкість руху води;

D_0 – коефіцієнт молекулярної дифузії.

Ареали можуть формуватись в однорідних (і в інших фільтраційних потоках) по площі розрізу або в об'ємі водоносного горизонту.

При математичному описі міграції солей ефект ареалу отримується при розгляді схем, в яких джерело солей займає невелику частину водоносного горизонту в плані або в розрізі, коли враховується не тільки поздовжня, але й поперечна дисперсія, дифузія, різна густина води.

Б.Хант [4] на основі результатів експериментальних даних встановив, що в результаті дисперсії та дифузії відбувається перемішування прісних та засолених потоків. У потоці можна виділити 3 зони: перша зона — зона перемішування, яка формується поблизу вхідного перетину; у другій зоні встановлюється концентрація повного змішування $C_{зм}$, а далі розташо-

вана третя зона — зона розсіювання, де $C_{3M} > C > 0$. В другій і третій зонах внаслідок обмеженості потоків відбувається не двомірне, а одномірне розсіювання. Розміри першої зони встановлюються стабільними; розміри другої зони збільшуються у часі.

Б. Хант одержав розв'язок для випадку, коли в одномірний потік по лінії 2В (рис. 1) вводяться забруднені речовини з постійною концентрацією C_0 , а у залишковій області фільтрації концентрація $C=0$.

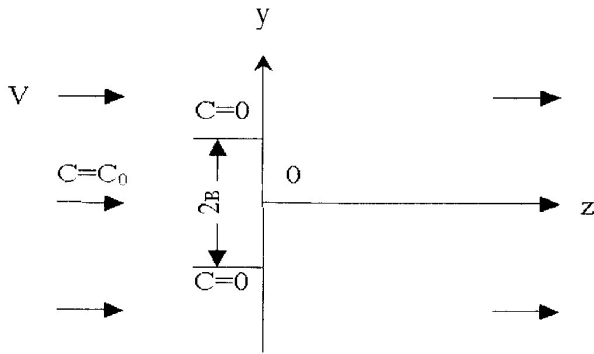


Рисунок 1 — Розрахункова схема формування ареалу засолення вод

Рівняння масопереносу має вигляд

$$D_x \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + D_y \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} - V \frac{\partial C}{\partial x} = 0 \quad (2)$$

при граничних умовах

$$\begin{aligned} \bar{C}(0, Y) = 1, \quad |Y| < B; \quad \bar{C}(0, Y) = 0, \quad |Y| > B; \\ \bar{C}(x^2 + y^2 \rightarrow \infty) = 0, \quad X > 0, \quad |Y| \geq 0. \end{aligned} \quad (3)$$

Точний аналітичний розв'язок задачі має дуже складний вигляд. Для умов $D_x = D_y$, поблизу джерела оцінка розподілення концентрацій по осі X може бути оцінена з виразу

$$\bar{C}(x, 0) \approx \operatorname{erf} \left(\frac{B}{2\sqrt{x}} \sqrt{\frac{V}{D_y}} \right) \quad (4)$$

Таким чином, знаючи коефіцієнти дифузії швидкість фільтрації, ширину зони проникнення розсолів у водоносний горизонт можна аналітично визначити мінералізацію вод на певній відстані від джерела.

Загалом при експлуатації нафтогазоконденсатних родовищ для зменшення впливу мінералізованих вод та розсолів, локалізації, забруднення необхідно:

- вивчати просторовий розвиток ареалу сольового забруднення та ступінь його небезпеки для навколишнього середовища та населення, що проживає у районі;

- достовірно визначити гідрогеологічні параметри для прогнозування розвитку ареалу забруднення з часом;

- розробити організаційно-методичні положення при плануванні заходів з ліквідації забруднених вод та не допустити повторного забруднення;

- виробити критерії, щоб обмежити екологічні несприятливі види господарської діяльності.

Для визначення мінералізації підземних вод у будь-який момент часу в межах розповсюдження сольового ареалу наведений розв'язок рівняння балансу маси розчиненої речовини в елементі водного пласта методом скінчених різниць.

Рівняння балансу маси розчиненої речовини в елементі водоносного пласта має такий вигляд:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^2 \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho q_{\text{соли}}) = \\ = - \frac{\partial (nm\rho c)}{\partial t} - n\rho \frac{\partial (mN)}{\partial t} + \rho(W_1 - W_2); \end{aligned} \quad (5)$$

$$q_{\text{соли}} = -D \frac{\partial (mc)}{\partial x_i} + q_{\text{фи}} \cdot C \quad (6)$$

Тут $q_{\text{соли}}$ – сольовий потік; C – концентрація мігруючої речовини у підземних водах; N – концентрація компоненту, що поглинається породою, або навпаки поступає в розчин у результаті фізико-хімічних реакцій; W_1 і W_2 – відвід або поступлення компоненту через покрівлю і підшову пласта; $q_{\text{фи}}$ – фільтраційний розхід; m – потужність пласта; ρ – густина води; D – дисперсія; n – пористість.

Враховуючи, що x_i – координати декартової системи: $x_1 = x$, $x_2 = y$; t – час, розпишемо (1) при таких припущеннях:

$$\begin{aligned} \rho = \text{const}; \quad n = \text{const}; \quad m = \text{const}; \quad D = \text{const}; \\ (W_1 - W_2) \rightarrow 0; \quad q_{\text{фи}} = 0; \quad N \text{ не залежить від } t. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} - \rho D m \sum_{i=1}^2 \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\frac{\partial c}{\partial x_i} \right) = \\ = - n m \rho \frac{\partial c}{\partial t} - m n \rho \frac{\partial N}{\partial t} + \rho (W_1 - W_2). \end{aligned}$$

Скоротивши на $(-n\rho m)$, отримаємо

$$D \left(\frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} \right) = n \frac{\partial c}{\partial t}, \quad \text{або}$$

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \frac{D}{n} \left(\frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} \right).$$

Позначимо $\frac{D}{n} = a^2$, тоді рівняння міграції для концентрації C має вигляд

$$\frac{\partial c}{\partial t} = a^2 \left(\frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} \right) \quad (7)$$

Отримали диференціальне рівняння з частинними похідними параболічного типу. Поставимо задачу: знайти концентрацію мігруючої речовини в підземних водах, яка задовольняє рівняння (3) при таких умовах (початкова і гранична умови):

$$C|_{t=0} = \varphi(x, y), \quad (x, y) \in G; \quad (8)$$

$$C|_G = \psi(t), \quad 0 \leq t \leq T \quad (9)$$

Тут G – досліджувана область в площині OXY ; G – границя області G ; T – проміжок часу, протягом якого проводиться дослідження концентрації C .

Задача полягає в тому, щоб знайти розв’язок рівняння (7) у просторовій циліндричній області (в основі – область G , а висота – T), знаючи цей розв’язок на основі циліндра і на його бічній поверхні.

При розв’язуванні цієї задачі застосовуємо метод скінченних різниць (МСР), який є дуже поширеним серед чисельних методів. В основі розв’язування рівнянь з частинними похідними МСР лежить скінченно-різницева апроксимація похідних. Покажемо, як це робиться для рівняння (7). Для цього розглянемо будь-який внутрішній вузол (i, j, k) , де i – номер вузла у напрямку осі OX , j – у напрямку осі OY , k – у напрямку осі OT . Тобто неперервна область замінюється дискретною – множиною точок вузлів сітки, причому в граничних вузлах шукана функція відома згідно з (8) та (9). Тепер наша задача полягає в тому, щоб знайти розв’язок у внутрішніх вузлах паралелепіпеда, апроксимуючого циліндричну область, знаючи цей розв’язок в граничних вузлах.

Згідно з МСР досліджувана область у просторі (x, y, t) покривається сіткою з кроками дискретизації h_x, h_y, h_t . Припустимо, що $h_x = h_y = h$. Отже, неперервну область замінюємо дискретною: множиною точок, які називаються вузлами сітки. Введемо нумерацію вузлів (рис. 2).

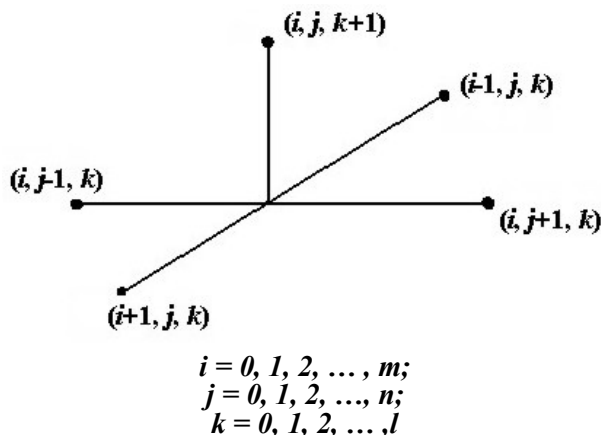


Рисунок 2 — Нумерація вузлів досліджуваної області

Похідну $\frac{\partial C}{\partial t}$ наближено замінимо відношенням приросту функції до приросту аргументу при переході із одного вузла у другий – сусідній з ним

$$\frac{\partial C}{\partial t} \approx \frac{C_{i,j,k+1} - C_{i,j,k}}{h_t}$$

Аналогічно

$$\left(\frac{\partial C}{\partial x}\right)_1 \approx \frac{U_{i+1,j,k} - U_{i,j,k}}{h};$$

$$\left(\frac{\partial C}{\partial x}\right)_2 \approx \frac{U_{i-1,j,k} - U_{i,j,k}}{h}$$

Тепер можна скласти скінченно-різницевий аналог другої похідної $\partial^2 C / \partial x^2$

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} &\approx \frac{\left(\frac{\partial C}{\partial x}\right)_1 - \left(\frac{\partial C}{\partial x}\right)_2}{h} = \\ &= \frac{C_{i,j,k+1} - 2C_{i,j,k} + C_{i-1,j,k}}{h^2} \end{aligned}$$

Аналогічно

$$\left(\frac{\partial c}{\partial y}\right)_1 \approx \frac{C_{i,j+1,k} - C_{i,j,k}}{h};$$

$$\left(\frac{\partial c}{\partial y}\right)_2 \approx \frac{U_{i,j,k} - U_{i,j-1,k}}{h};$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} &\approx \frac{\left(\frac{\partial c}{\partial y}\right)_1 - \left(\frac{\partial c}{\partial y}\right)_2}{h} = \\ &= \frac{C_{i,j+1,k} - 2C_{i,j,k} + C_{i,j-1,k}}{h^2} \end{aligned}$$

Підставимо ці похідні в рівняння (7) і отримаємо його скінченно-різницевий аналог

$$\begin{aligned} \frac{c_{i,j,k+1} - c_{i,j,k}}{h_t} &= a^2 \left(\frac{c_{i+1,j,k} - 2c_{i,j,k} + c_{i-1,j,k}}{h^2} + \right. \\ &\left. + \frac{c_{i,j+1,k} - 2c_{i,j,k} + c_{i,j-1,k}}{h^2} \right) \end{aligned}$$

Зробивши деякі перетворення, виразимо $U_{i,j,k+1}$

$$\begin{aligned} c_{i,j,k+1} &= \frac{a^2 h_t}{h^2} (c_{i-1,j,k} + c_{i+1,j,k} + c_{i,j-1,k} + c_{i,j+1,k}) + \\ &+ \left(1 - \frac{4a^2 h_t}{h^2}\right) c_{i,j,k} \quad (10) \end{aligned}$$

Обчислення за формулою (10) дають можливість виходячи із відомих значень концентрації у п’яти точках часового рівня з номером k , знайти концентрацію в одній вузловій точці наступного часового рівня з номером $(k+1)$.

Але цю формулу можна ще спростити, якщо врахувати умову стійкості обчислювальної схеми. У нашому випадку обчислювальна схема буде стійкою, якщо виконується умова

$$1 - \frac{4a^2 h_t}{h^2} \geq 0 \quad (11)$$

Або, розв’язуючи цю нерівність відносно h_t , отримаємо

$$h_t \leq \frac{h^2}{4a^2} \quad (12)$$

Звідси очевидно, що кроки дисперсеризації не можна вибрати довільно. Якщо крок h вибираємо довільно, то крок h_t – із умови (12). Розглянемо граничний випадок умови (12)

$$h_t = \frac{h^2}{4a^2}. \quad (13)$$

Тоді рівняння (10)

$$C_{i,j,k+1} = \frac{C_{i-1,j,k} + C_{i+1,j,k} + C_{i,j-1,k} + C_{i,j+1,k}}{4}. \quad (14)$$

Отже, щоб знайти концентрацію $C_{i,j,k+1}$ на часовому рівні $(k+1)$, треба знайти середнє арифметичне значень $C_{i-1,j,k}$, $C_{i+1,j,k}$, $C_{i,j-1,k}$, $C_{i,j+1,k}$ попереднього часового рівня k .

Як бачимо, тепер достатньо знати концентрацію в чотирьох точках, щоб знайти $C_{i,j,k+1}$.

Краєві умови (8), (9) запишемо відносно вузлів сітки

$$\text{П.У. } C_{i,j,0} = \varphi(x_i, y_j), \quad (15)$$

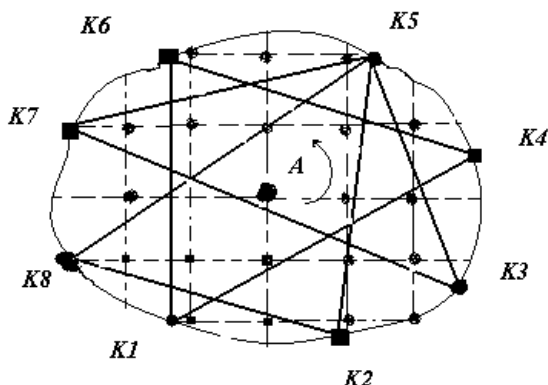
$$i = 0, 1, 2, \dots, m; \quad j = 0, 1, 2, \dots, n;$$

$$\text{Г.У. } C_{i,j,\kappa} | \Gamma' = \Psi(t_\kappa), \quad \kappa = 0, 1, 2, \dots, l \quad (16)$$

Тут Γ' – бічна поверхня паралелепіпеда.

Для задання початкової умови (15) достатньо зробити заміри концентрації у вузлах сітки на нульовому часовому рівні (при $t=0$). Якщо граничну умову (16) забезпечити важко, то можна запропонувати принцип “піраміди” для знаходження концентрації за формулою (14) при заданій початковій умові (15). Але при цьому досліджувану область G (в площині OXY) треба збільшити таким чином, щоб знайдені концентрації на деякому заданому часовому рівні відповідали досліджуваній області G .

Тепер покажемо, як можна забезпечити початкову умову розглянутої задачі і знайти концентрацію існуючої речовини (на глибині 15 м). Для цього використаємо криниці населеного пункту та свердловини, які є в досліджуваній області (рис. 3) і за допомогою яких беруться проби води і визначається концентрація в точках ($i = 1, \dots, 8$)



- – криниця
- – свердловина
- $K_1 - 3,2 \text{ г/дм}^3$
- $K_3 - 2 \text{ г/дм}^3$
- $K_2 - 1,5 \text{ г/дм}^3$
- $K_5 - 5 \text{ г/дм}^3$
- $K_4 - 2,7 \text{ г/дм}^3$
- $K_8 - 4 \text{ г/дм}^3$
- $K_6 - 3 \text{ г/дм}^3$
- $K_7 - 1 \text{ г/дм}^3$

Рисунок 3 — Спосіб обертання симплекса

Припустимо, що є 5 криниць і 3 свердловини. Границю області побудуємо так, щоб вона пройшла через ці режимні пункти. Всередині області вкажемо точки, в яких треба знайти концентрацію. Покажемо, як можна визначити концентрацію в одній з внутрішніх точок, наприклад, у точці А.

Для цього застосовуємо спосіб обертання симплекса, згідно з яким концентрація в точці А

$$C(A) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N C_n(A), \quad (17)$$

де: N – число положень симплекс-елемента (трикутника з вершинами на границі області в точках K_i ($i=1, 2, \dots, 8$); $C_n(A)$ – середня зважена концентрація по трьох граничних значеннях, яка дорівнює

$$C_n(A) = C_i \cdot \xi_i + C_j \cdot \xi_j + C_k \cdot \xi_k. \quad (18)$$

Тут ξ_i, ξ_j, ξ_k – вагові коефіцієнти, які визначаються, як геометричні ймовірності

$$\xi_i = \frac{\text{mes } \Omega_i}{\text{mes } \Omega},$$

де

$$\text{mes } \Omega = \frac{1}{2} \begin{vmatrix} 1 & x_i & y_i \\ 1 & x_j & y_j \\ 1 & x_k & y_k \end{vmatrix}; \quad \text{mes } \Omega_i = \frac{1}{2} \begin{vmatrix} 1 & x_A & y_A \\ 1 & x_j & y_j \\ 1 & x_k & y_k \end{vmatrix}.$$

Отже, $\text{mes } \Omega$ – це площа трикутника (симплекс-елемента), а $\text{mes } \Omega_i$ – це площа заштрихованого трикутника (рис. 4).

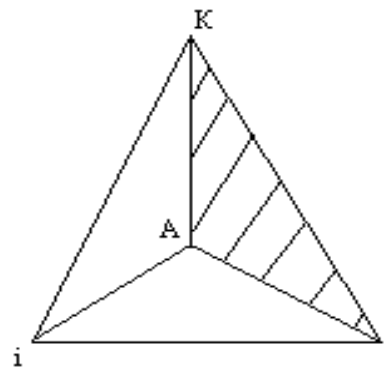


Рисунок 4 — Одне з положень симплекс-елемента

При обертанні симплекс-елемента навколо точки А його вершини збирають інформацію в граничних точках і передають її в точку А. Таким чином, можна знайти концентрацію в будь-якій внутрішній точці області, зокрема у вузлах нанесеної на неї сітки.

Покажемо, як визначається концентрація в точці А, якщо в граничних вузлах K_i ($i=1, 2, \dots, 8$) концентрація відома і відповідно дорівнює

$$C_1=3.2 \text{ г/дм}^3; C_2=1.5 \text{ г/дм}^3; C_3=2 \text{ г/дм}^3;$$

$$C_4=2.7 \text{ г/дм}^3; C_5=5 \text{ г/дм}^3; C_6=3 \text{ г/дм}^3;$$

$$C_7=1 \text{ г/дм}^3; C_8=4 \text{ г/дм}^3.$$

Введемо систему координат XOY і задамо координати всіх вузлових точок і точки A (в певному масштабі). Згідно зі способом обертання симплекса розглянемо кілька положень симплекс-елемента:

1) Перше положення симплекс-елемента-трикутник $K_1K_4K_6$. Знайдемо вагові коефіцієнти

$$\xi_1 = \frac{mes\Delta AK_4K_6}{mes\Delta K_1K_4K_6} = 0.322;$$

$$\xi_4 = \frac{mes\Delta K_1AK_6}{mes\Delta K_1K_4K_6} = 0.339;$$

$$\xi_6 = \frac{mes\Delta K_1K_4A}{mes\Delta K_1K_4K_6} = 0.341.$$

Тоді концентрація в точці A для першого положення симплекс-елемента

$$C_1(A) = \xi_1 \cdot C_1 + \xi_4 \cdot C_4 + \xi_6 \cdot C_6 =$$

$$= 0.322 \cdot 3.2 + 0.339 \cdot 2.7 + 0.341 \cdot 3 =$$

$$= 1.03 + 0.915 + 1.023 = 2.968 \text{ (г/дм}^3\text{)}.$$

2) Друге положення симплекс-елемента – трикутник $K_2K_5K_8$. Вагові коефіцієнти

$$\xi_2 = \frac{mes\Delta AK_5K_8}{mes\Delta K_2K_5K_8} = 0.232;$$

$$\xi_5 = \frac{mes\Delta K_2AK_8}{mes\Delta K_2K_5K_8} = 0.528;$$

$$\xi_8 = \frac{mes\Delta K_2K_5A}{mes\Delta K_2K_5K_8} = 0.245.$$

Тоді концентрація в точці A для другого положення симплекс-елемента

$$C_2(A) = \xi_2 \cdot C_2 + \xi_5 \cdot C_5 + \xi_8 \cdot C_8 =$$

$$= 0.232 \cdot 1.5 + 0.528 \cdot 5 + 0.245 \cdot 4 =$$

$$= 0.348 + 2.64 + 0.98 = 3.968 \text{ (г/дм}^3\text{)}.$$

3) Третє положення симплекс-елемента – трикутник $K_3K_5K_7$. Вагові коефіцієнти

$$\xi_3 = \frac{mes\Delta AK_5K_7}{mes\Delta K_3K_5K_7} = 0.372;$$

$$\xi_5 = \frac{mes\Delta K_3AK_7}{mes\Delta K_3K_5K_7} = 0.182;$$

$$\xi_7 = \frac{mes\Delta K_3K_5A}{mes\Delta K_3K_5K_7} = 0.442.$$

Концентрація в точці A для третього положення симплекс-елемента

$$C_3(A) = \xi_3 \cdot C_3 + \xi_5 \cdot C_5 + \xi_7 \cdot C_7 =$$

$$= 0.372 \cdot 2 + 0.182 \cdot 5 + 0.442 \cdot 1 =$$

$$= 0.744 + 0.91 + 0.442 = 2.096 \text{ (г/дм}^3\text{)}.$$

Згідно з формулою (13) при $N=3$ маємо концентрацію в точці A

$$C(A) = \frac{1}{3} \sum_{n=1}^3 C_n(A) =$$

$$= \frac{1}{3} (2.968 + 3.968 + 2.096) = 3.011 \text{ (г/дм}^3\text{)}$$

Отже, за допомогою такої процедури можна забезпечити початкову умову при розв'язуванні рівняння міграції методом скінченних різниць і, використовуючи принцип "піраміди", знайти концентрацію підземних вод в будь-який момент часу у вузлах сітки досліджуваної області.

Література

1. Телегін Л.Г., Ким Б.І. Охрана окружающей среды при сооружении и эксплуатации газонефтепроводов. – М.: Недра, 1988.– 186 с.
2. Семчук Я.М., Говдяк Р.Н. Дослідження особливості формування нафтового забруднення зони аерації на фізичній моделі // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. Серія: Буріння нафтових і газових свердловин. – Івано-Франківськ, 2001. – Вип. 38.(том 2). – С. 176-184.
3. Васильев А.Н., Журавель Н.Е. Организация гидрохимического мониторинга в условиях нефтегазоносного северо-восточной Украины. – Харьков: Епограф, 2001. – 112 с.
4. Hunt E.W. Dispersion from pit in uniform seepage. – Proc. Amer. Soc. Civil Engrs. J Hydrology Div, 1983, vol. 991, p. 13 – 21.