

# НАФТОГАЗОВА СПРАВА

---

---

## Розробка нафтових та газових родовищ

---

---

УДК 504.064

DOI: 10.31471/2304-7399-2019-1(53)-72-80

### МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ КООРДИНАТ НАФТОВИХ СВЕРДЛОВИН – ЗАБРУДНЮВАЧІВ ДОВКІЛЛЯ

**Я. М. Семчук, Г. Д. Лялюк-Вітер, Г. М. Кривенко**

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу;  
76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15;  
тел. +38(0342)72-71-58; e-mail: [bzhd@nung.edu.ua](mailto:bzhd@nung.edu.ua)*

*Проаналізовано методи визначення координат нафтових свердловин, які є забруднювачами підземних вод. Основним методом визначення координат є запуск індикаторів у свердловину. Встановлено, що із середовища хімічних індикаторів необхідно вибрати таку речовину, яка б була відсутня у природній воді. Вибір певних фарб визначається фізико-хімічними властивостями водоносних ґрунтів, щоб виключити процеси сорбції і дисперсії. Рекомендовано дві схеми польових дослідів. Перша схема – це запуск індикатора у свердловину в умовах природного потоку, а друга – нагнітання (налив) речовин у свердловину. У статті вказано на недоліки даного методу.*

*Розглянуто також гідрохімічний метод визначення координат, що ґрунтується на основі хімічного аналізу відібраних проб із свердловин.*

*Проаналізовано метод визначення координат джерела забруднення водоносного горизонту гідродинамічними дослідженнями, а саме: порушення статичної рівноваги у водоносному горизонті шляхом інтенсивного відбору проб із свердловини джерела забруднення.*

**Ключові слова:** *свердловина, джерело забруднення, координати, індикатори, гідрохімічний метод дослідження, гідродинамічний метод дослідження.*

### **Вступ**

Розробка нафтових родовищ характеризується різноманітною дією на довкілля: відбуваються зміни природного стану його компонентів – поверхневих та підземних вод, ґрунтів, атмосферного повітря. Ці зміни можуть призвести до значних непередбачених наслідків. Запобігання можливого негативного впливу на довкілля при експлуатації нафтових родовищ та збереження життєво забезпечуючих функцій природного середовища в даний час розглядається як одна з важливих і актуальних проблем.

Відомо, що нафту, конденсат, природний газ видобувають у складі суміші із пластовими водами, що представлені, у більшості випадків, високомінералізованими водами та розсолами хлоридного типу, які з різних причин та різними шляхами можуть забруднювати природні води.

У випадках виникнення техногенних аварій на нафтопромислах, частина рідини з нафтового продукту горизонту може потрапляти в водоносний горизонт, викликаючи забруднення питної води. Джерелом забруднень водоносного пласта найчастіше можуть бути стовбури нафтових свердловин. Мінеральна вода водоносного горизонту є агресивним корозійним середовищем для металу стовбура нафтової свердловини та затрубного цементного каменю, корозійні ушкодження якого призводять до попадання продукції нафтових свердловин у водоносний пласт. Особливо висока ймовірність виникнення джерел забруднення водоносних горизонтів в процесі реалізації методів активного впливу на нафтовий пласт (наприклад, проведення гідророзривів). У таких ситуаціях для забезпечення техногенної безпеки водоносного горизонту необхідно знати момент її виникнення і координати джерела забруднення.

**Метою статті** є аналіз методів визначення координат нафтових свердловин, що можуть бути джерелом забруднення водоносного горизонту та уловлювання його у спостережних режимних пунктах.

Вплив нафти та нафтопродуктів від різних джерел на довкілля досліджувалося та описано у багатьох роботах, а саме: Я. М. Семчука та Р. М. Говдяка [1-3], А. М. Васильєва [4, 5], Г. І. Рудька [6, 7] та інших.

Відомо, що нафту, конденсат та природний газ добувають у складі суміші з пластовими водами, які представлені у більшості водами з мінералізацією до  $50 \text{ г/дм}^3$  або розсолами з мінералізацією більше цієї величини (за класифікацією Курнакова-Валяшко). Об'єм пластових вод при видобутку вуглеводнів може коливатися від декількох до 75%. Впливу пластових вод на довкілля присвячено мало робіт, але саме цей вид забруднення може більш масштабно змінювати стан екосистем, ніж нафтопродукти.

### **Виклад основного матеріалу**

Основним методом визначення координат є запуск індикатора у свердловини, що можуть бути джерелом забруднення водоносного горизонту, та уловлювання його у спостережних режимних пунктах (све-

рдловина, криниця). Як індикатори застосовують радіоактивні речовини, електроліти та різні барвники [8], які умовно можна розділити на дві групи – А і Б.

Група А. Речовини, що розчиняються у воді, – хлористий натрій, хлористий калій, хлористий амоній, азотнокислий калій, солі літію та заліза; присутність їх у воді визначається хімічними та фізичними методами.

Група Б. Речовини, що розчиняються у воді та надають їй з часом певний колір: марганцевокислий калій, фуксин, конго, метиленова синька, анілінові фарби (шкідливі), флуоресцеїн.

Головні вимоги, які необхідно пред'явити при виборі речовин-індикаторів, є наступними:

- індикатори повинні входити у водоносний пласт і рухатись в ньому зі швидкістю води;
- вони повинні легко і швидко виявлятися у пробах води;
- індикатори не повинні взаємодіяти з речовинами, що знаходяться у воді та у водоносних ґрунтах;
- вони не повинні бути шкідливі.

Найчастіше використовуються індикатори хімічної групи А та фарби групи Б, але доцільність використання речовин певної групи повинна залежати від числа експериментального використання їх в однакових гідрогеологічних умовах.

Із середовища хімічних індикаторів необхідно вибирати таку речовину, яка відсутня або є у мінімальній кількості у природній воді.

Вибір певних фарб визначається фізико-хімічними властивостями водоносних ґрунтів, наприклад, більшість фарб адсорбується глинистими ґрунтами, що призводить до безколірності води. Найстійкішими із них є флуоресцеїн. Він представляє собою рожевий або червоний порошок, що важко розчиняється у воді. Тому його спочатку розчиняють у лужному середовищі або у спирті, а потім зливають у воду; у відбитому світлі флуоресцеїн має характерний зелений колір.

Відзначимо, що достовірність експериментів залежить від відстані між пунктами запуску індикатора та його дозування (табл. 1).

Таблиця 1. Дозування індикаторів у залежності від відстані між режимними пунктами

№ з/п	Вид індикатора	Вага індикатора, кг	Відстань між дослідними режимними пунктами, м
1	Хлористий натрій	10-15	5-7
2	Хлористий калій	4-10	3-5
3	Хлористий амоній	3-5	2-5
4	Хлористий літій	0,010-0,015	2-5
5	Анілінові фарби	0,2-0,3	2-5
6	Флуоресцеїн	0,001-0,005	2-5
7	Метиленова синька	0,002-0,01	5-7

У польових умовах, як правило, пропонується пакетна схема подачі індикатора, оскільки довготривалий запуск вимагає великої його кількості, а це технічно важко виконувати.

За даними [9] можна рекомендувати дві схеми польових дослідів.

**Схема 1.** Запуск індикатора у свердловину в умовах природного потоку підземних вод. Цей дослід можливий лише при великих швидкостях природного потоку підземних вод, що дозволяє завершити дослідження за відносно короткий термін. Для попередніх розрахунків довготривалості дослідів та визначення необхідної відстані  $x$  між пусковою та спостережною свердловиною використовуємо вираз:

$$t = \frac{\chi \cdot n}{k \cdot \varphi}, \quad (1)$$

де  $\varphi$  – градієнт напору або нахил потоку (у більшості випадків не перевищує 0,003);  $k$  – коефіцієнт фільтрації, м/с;  $n$  – активна пористість.

При швидкому та рівномірному розподілі індикатора у відкритому інтервалі свердловини дія, що виникає від миттєвого сольового джерела, описується рівнянням [10]:

$$C(x, t) = \frac{M_c}{2m\varepsilon d \sqrt{\pi D n l}} e^{-\left(\frac{x - vt/n}{4Dt/n}\right)^2}, \quad (2)$$

де  $C$  – концентрація індикатора в певний момент часу у водоносному горизонті у спостережній точці на відстані  $x$  від пускової свердловини, кг/м<sup>3</sup>;  $v/n$  – середня дійсна швидкість підземних вод у напрямку  $x$ , приймається постійною, м/с;  $M_c$  – кількість маси індикатора, запущеного у свердловину, кг;  $D$  – коефіцієнт дисперсії у напрямку  $x$ , м/с;  $m$  – потужність пласта, м;  $l$  – довжина відкритого інтервалу свердловини, м;  $d$  – діаметр свердловини, м;  $\varepsilon$  – коефіцієнт, що враховує викривлення ліній течії у свердловині і залежить від конструкції водоприймальної частини.

**Схема 2.** Нагнітання (налив) індикатора у свердловину. Ця схема використовується у тих випадках, коли швидкість природного потоку підземних вод незначна. Навколо нагнітальної свердловини 1-3 променями розміщують спостережні свердловини по 2-3 на кожному. Відстань до спостережної свердловини  $r_i$  вибирається такою, щоб забезпечити довготривале спостереження. Для цього можна використати залежності:

$$t \approx \frac{\pi m n \cdot r_i^2}{Q} \quad \text{або} \quad r_i = \sqrt{\frac{Q \cdot t}{\pi m n}}, \quad (3)$$

де  $Q$  – витрата розчину, що наливається у свердловину, м<sup>3</sup>/с;  $r_i$  – відстань до спостережної свердловини, м;  $t$  – час, с;  $n$  – активна пористість.

Відзначимо, що визначення координат гідрохімічним методом джерел забруднення за допомогою запуску індикаторів у свердловини є трудомістким методом, вимагає великої кількості речовини. Крім того,

у багатьох випадках, він є малоефективним, оскільки на якість результатів впливають неоднорідність порід водоносного горизонту, а також сорбція і дисперсія. Координати забрудненого водоносного пласта можна визначати також на основі хімічного аналізу відібраних проб: найбільша концентрація солей вкаже на близькість до джерела забруднення.

За даними роботи [10], вміст солей у водоносному горизонті з часом досягає певної величини і в подальшому не змінюється. Стабільність концентрації встановлюється тоді, коли досягається рівність:

$$C_k \cdot Q_l = C_0 \cdot q, \quad (4)$$

де  $C_0$  – початкова концентрація солей, що надходить у водоносний горизонт,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $q$  – початкова кількість солей, що надходить у водоносний горизонт,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $C_k$  – концентрація солей у воді у процесі змішування (на період стабілізації),  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $Q_l$  – сумарна кількість води і солей у певному об'ємі пласта,  $\text{м}^3/\text{с}$ .

У період стабілізації процесу засолення водоносного горизонту (коли концентрація солей у воді не зростає) метод відбору та аналізу проб на хімічний аналіз для визначення координат джерела забруднення не ефективний. Тому слід порушити рівновагу у водоносному горизонті шляхом інтенсивного відбору води, що активізує роботу джерела забруднень, і за характером протікання гідродинамічного процесу фільтрації виявити координати джерела.

Як відомо, швидкість фільтрації рідини в однорідному пористому середовищі зв'язана рівнянням Дарсі з градієнтом тиску:

$$\vec{v} = \frac{k}{\rho g} \text{grad } P. \quad (5)$$

Вектор швидкості спрямований уздовж нормалі до площини, через яку витрачається найбільше рідини. Будемо вважати, що режим фільтрації рідини в пласті є жорстким [11, 12], тобто таким, що вплив сил інерції і пружності є незначним, внаслідок чого ними, а також силами внутрішнього тертя (в'язкістю), можна знехтувати. Якщо в такому випадку реалізувати рівняння (5) для однорідного горизонтального безмежного пласту сталої потужності, в якому діє точкове джерело, то в результаті одержимо лінії сталого тиску (ізобари) – концентричні кола з центром в точці дії джерела. Градієнт тиску у всіх напрямках буде однаковим. Однак, якщо в деякій іншій точці пласта буде діяти стік, то картина процесу суттєво зміниться. Очевидно, що фільтраційний опір пласта в напрямку “джерело-стік” буде суттєво меншим, ніж у всіх інших напрямках. Тому швидкість фільтрації у вказаному напрямку буде суттєво більшою (її величина залежатиме від інтенсивності джерела і стоку), градієнт тиску в цьому напрямку зросте. Картина розміщення ізобар на площі пласта зміниться: ізобари утворять еліпс, велика вісь

якого розміщена в напрямку “джерело-стік”. Викладені міркування покладено в основу методики визначення координат джерела забруднення водоносного горизонту.

Технологічно суть методики зводиться до наступного. Якщо у водоносному горизонті зауважено забруднення питної води продукцією нафтових свердловин, то логічно визнати, що джерелом забруднень є одна з нафтових свердловин, стовбур якої пошкоджено процесами корозії. У такому випадку необхідно створити інтенсивний відбір води з пласта у певній його точці (точковий стік), який викличе фільтрацію води в водоносному горизонті. Точковим стоком може бути одна з криниць, з якої здійснюється відбір води потужним занурювальним насосом. У точках можливого збору інформації необхідно проводити неперервну реєстрацію рівня води в часі.

Далі використовується аналітична стадія процесу. На карті місцевості, виконаній у певному масштабі, наноситься ортогональна координатна сітка, в один з вузлів якої розміщується стік (точка відбору води з пласта), а в іншому – джерело забруднень (одна з свердловин нафтового промислу). Оскільки нафтових свердловин у даному регіоні обмежена кількість, то існує скінчене число розрахункових схем. Для кожної зі схем реалізується задача розподілу тиску в пласті по площі і в часі на основі отриманої залежності:

$$P(x, y, t) = P_0 \frac{1}{4\pi\chi t} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \exp\left[-\frac{(x-\xi)^2 + (y-\zeta)^2}{4\chi t}\right] d\xi d\zeta + \frac{1}{F} \int_0^t \frac{1}{4\chi(t-\tau)} \left[ q_1 \exp\left[-\frac{(x-x_1)^2 + (y-y_1)^2}{4\chi(t-\tau)}\right] - q_2 \exp\left[-\frac{(x-x_2)^2 + (y-y_2)^2}{4\chi(t-\tau)}\right] \right] d\tau, \quad (6)$$

де  $x_1, y_1$  – координати стоку (відбору води з пласта);  $q_1$  – інтенсивність стоку (витрати води, що рівна подачі насоса),  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $x_2, y_2$  – координати джерела забруднень (точки розміщення свердловини в кожному з варіантів);  $q_2$  – інтенсивність джерела (витрата забруднення),  $\text{м}^3/\text{с}$ .

Як правило, витрата забруднення  $q_2$  є величиною невідомою. Для її визначення слід скористатись результатами аналізу води у водоносному горизонті.

Нехай відомо час  $\tau$ , що минув з моменту виникнення джерела забруднення. Очевидно, відомими є концентрація  $C_m$  солей у контурних водах нафтоносного горизонту і концентрація  $C_i$  солей у водоносному горизонті до техногенної аварії. Якщо відомо об’єм води  $V_e$  у межах водоносного горизонту, то концентрація солей на момент часу  $\tau$  складе:

$$C_\tau = \frac{q_{2\text{сеп}} \cdot \tau \cdot C_m + V_e \cdot C_i}{V_e}. \quad (7)$$

Вимірявши значення концентрацій  $C_v, C_m$  і  $C_i$  на основі аналізів відібраних проб, з (7) можна знайти середню за час  $\tau$  інтенсивність

джерела забруднень  $q_{2\text{сер}}$ . Очевидно, що при інтенсивному відборі води з водоносного пласта  $q_1$  величина інтенсивності джерела забруднень  $q_2$  буде більшою за усереднене в часі значення  $q_{2\text{сер}}$ . Тому в розрахунках при реалізації моделі (6) приймалися значення інтенсивності джерела :

$$q_2 = q_{2\text{сер}} \left( 1 + \frac{q_1 - q_{2\text{сер}}}{q_1} \right). \quad (8)$$

Залежність (8) має експериментальне підтвердження при проведенні розрахунків моделі для водоносного горизонту Долинського району.

Отже, на основі моделі (6) можна побудувати ізобари для водоносного горизонту в період проведення технологічних випробувань. Кількість варіантів розрахунку дорівнює кількості нафтових свердловин у районі водоносного горизонту, кожна з яких розглядається як можливе джерело забруднення.

### Висновки

Основними методами визначення координат джерел забруднення підземних вод нафтових свердловин є запуск в них індикаторів та уловлювання їх спостережними режимними пунктами. Крім цього можна використати гідрохімічний метод, який ґрунтується на хімічних аналізах відібраних проб із свердловин. Найбільша концентрація солей вкаже на близькість джерела забруднення. Найперспективнішим для знаходження координат джерел забруднення є гідродинамічний метод, який апробовано на Долинському нафтогазовому родовищі. Суть його полягає в тому, що за результатами розрахунків будуються карти ізобар для кожного з варіантів і на кожну з них наносяться фактичні дані, одержані в результаті проведення гідродинамічних випробувань. Найточнішою вважається схема, для якої розрахункові значення тиску є найближчими до величин, вимірених експериментально. Цій схемі відповідають координати джерела забруднень  $(x_{2i}, y_{2i})$ , що вказують на свердловину, яка є причиною забруднення водоносного пласту.

### Література

1. Семчук Я.М. Говдяк Р.М. Дослідження проникності ґрунтів зони аерації при аварійних викидах нафтопродуктів // Державний міжвідомчий науково-технічний збірник „Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ”. – Випуск 34. – Івано-Франківськ, 1997. – С. 219-223.
2. Семчук Я.М. Говдяк Р.М. Прогнозні оцінки забруднення компонентів навколишнього середовища нафтопродуктами за допомогою показників екологічної безпеки // Державний міжвідомчий науково-технічний збірник „Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ”. – Випуск 37. – Івано-Франківськ, 2000. – С. 146-151.
3. Семчук Я.М. Говдяк Р.М. Дослідження особливості формування нафтового забруднення зони аерації на фізичній моделі. Державний між-

- жвідомчій науково-технічний збірник “Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ”. – Випуск 38. – Івано-Франківськ, 2001. – С. 176-184.
4. Васильєв А.М., Журавель М.Є., Ключко П.В. Експлуатація родовища вуглеводнів в умовах загальнодержавного заказника (на прикладі Андріяшівського газоконденсатного родовища) // Державний міжвідомчий науково-технічний збірник «Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ». – Випуск 37. – Івано-Франківськ, 2000. – С. 33-39.
  5. Васильєв А.Н., Журавель Н.Е. Организация гидрохимического мониторинга в условиях нефтегазосного северо – восточной Украины – Харьков: Епограф, 2001. – 112 с.
  6. Рудько Г.І., Шкіца Л.Є. Екологічна безпека та раціональне природо-користування в межах гірничопромислових і нафтогазових комплексів: Монографія. – К.:”Нічлава”, 2001. – 508 с.
  7. Рудько Г.І., Депутат Б.Ю. Екологічна безпека навколишнього середовища України. Контури проблем // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. – № 4. – Івано-Франківськ, 2003.– С. 22 – 28.
  8. Цвачев Л.М., Кипко Э.Я., Лагунов В.А., Лушникова О.Ю., Полозов Ю.А., Саламатов М.А. Новое в проектировании и производстве изоляционных работ с поверхности земли при сооружении стволов. // Шахтное строительство, 1973. – № 11. – С. 9-13.
  9. Ланге О.К. Гидрогеология. Учебник. – М.: Изд-во. Высшая школа, 1979. – 368 с.
  10. Грабовников В.А., Рубейкин В.З., Самсонова Л.Н. Формирование и строение ареалов рассеяния веществ в подземных водах. – М.: Недра, 1977. – 136 с.
  11. Недрич В.П. Инженерная защита подземных вод от загрязнения промышленными стоками. – М.: Стройиздат, 1976. – 96 с.
  12. Глазний А.В., Скопєцький В.В. Метод числового моделювання екологічних процесів. – К.: Політехніка, 2005. – 152 с.

*Стаття надійшла до редакційної колегії 18.09.2019 р.*

*Рекомендовано до друку д.т.н., професором Кондратом Р.М., д.т.н., професором Світлицьким В.М. (м. Київ)*

## METHODS TO FIND COORDINATES OF OIL WELLS – CONTAMINATORS OF THE ENVIRONMENT

**Ya. M. Semchuk, H. D. Lialiuk-Viter, G. M. Kryvenko**  
*Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas;*  
*76019, Ivano-Frankivsk, Karpatska st., 15;*  
*ph. +38(0342)72-71-58; e-mail: bzhd@nung.edu.ua*



*We have analyzed methods that are used to locate oil wells which pollute subsurface water. The main method to find coordinates is to run indicators in a well. It has been found out that a substance which would be absent in natural water should be selected among the range of chemical indicators. The selection of certain dyes is determined by physical and chemical properties of aquifers in order to eliminate sorption and dispersion processes. Two types of field research are recommended. The first scheme involves putting of the indicator into the well under conditions of natural flow, and the second scheme is the injection of substance into the well. The article points out the drawbacks of this method. It has also examined hydro chemical method to determine the coordinates which is based on the chemical analysis of samples taken from wells. We have also analyzed the method which uses hydrodynamic research to determine sources of contamination of aquifers. That is to disturb static equilibrium in the aquifer by intensive sample taking from the well which is the contamination source.*

**Key words:** *well, contamination source, coordinates, indicators, hydrochemical research method, hydrodynamic research method.*