

© В.З. Сабан

Я.М. Семчук

д-р техн. наук

Б.Й. Маєвський

д-р геол.-мінерал. наук

О.Д. Мельник

канд. геол.-мінерал. наук

ІФНТУНГ

Моделювання техногенної трансформації високомінералізованих вод під час забруднення водоносних горизонтів

УДК 628.112.4

Досліджено та вивчено шляхи формування складу високомінералізованих вод, встановлено можливі шляхи надходження і міграції у прісні води забруднюючих речовин. За результатами моделювання техногенної трансформації складено три базові моделі – для фонових складу вод зони активного водообміну, соляних вод і хлоридних розсолів із зони застоїного режиму.

Ключові слова: моделювання, міграція, водообмін, засолення, зона аерації, трансформація, водоносний горизонт.

Исследованы и изучены пути формирования состава высокоминерализованных вод, установлены возможные пути поступления и миграции в пресные воды загрязняющих веществ. По результатам моделирования техногенной трансформации составлено три базовые модели – для фонового состава вод зоны активного водообмена, соляных вод и хлоридных рассолов из зоны застойного режима.

Ключевые слова: моделирование, миграция, водообмен, засоления, зона аэрации, трансформация, водоносный горизонт.

The ways of forming highly mineralized water compound were explored and studied, possible routes of pollutants migration in fresh water were found. Three basic models are proposed – for the background compound of active water exchange zone water, for the saline water and the chloride brines of the stagnant regime zone.

Key words: modeling, migration, water exchange, salinity, aeration zone, transformation, aquifer.

Зміна гідрогеологічних умов Долинського нафтопромислового району тісно пов'язана з інтенсифікацією видобутку нафти. Розробка нафтових родовищ супроводжується значними змінами гідрогеологічних умов як по площі поширення, так і вглиб земної кори. Таке явище пояснюється різким зростанням джерел забруднень на родовищах, що розробляються в районі. Вплив процесів нафтовидобування на підземні води найбільш виразно і масштабно проявляється на родовищах нафти, які вступили в завершальну стадію розробки. До таких родовищ належить і Долинське нафтове родовище (рис. 1).

У загальній класифікації джерел забруднення підземних вод, запропонованій А. Я. Гасвим [1], основними забруднювачами для нафтовидобувних регіонів є геотехнологічні (свердловини, КНС тощо) та транспортні (водо- і нафтопроводи) джерела забруднення. При цьому виділяють такі техногенні чинники, що визначають зміну геологічного середовища та пов'язані з видобуванням нафти:

- засолення прісних підземних вод під час фільтрації забруднюючих речовин зверху;

- засолення підземних вод знизу за рахунок розсолів нижніх горизонтів, що тектонічними порушеннями проникають через свердловини, літологічні вікна;

- порушення режиму, балансу й осушення водоносних горизонтів;

- розвиток вторинного карсту під впливом циркуляції агресивних соляних вод;

- утворення воронкоподібних перетоків;

- пориви нафтопроводів;

- пориви трубопроводів нафтопромислових стічних вод;

- просідання земної кори.

Найбільш важливим заходом для виявлення та ліквідації

джерела забруднення є встановлення місця його локалізації: поверхневе або підземне забруднення, напрямок надходження соляних вод і розсолів у водоносні горизонти – зверху або знизу.

Під забрудненням «зверху» розуміється інфільтрація води з поривів нагнітальних водопроводів, під час аварійних розливів на насосних спорудах КНС, УКПТ тощо, надходження соляних вод із земляних амбарів, які використовують для додаткового відстоювання супутньої пластової води, розливів води у разі розгерметизації нагнітальних свердловин [2–3]. На сьогодні більшість випадків виявлення джерел засолення пов'язано з корозією трубопроводів, аварійними розливами під час поривів напірних водопроводів і нафтопроводів (рис. 2, а та б).

Спочатку забруднюються поверхневі води річок і струмків, перші від поверхні землі водоносні горизонти. Для досліджуваного регіону це водоносні горизонти четвертинних та неогенових відкладів. Спостереження за розміщенням джерел забруднення показують, що найчастіше вони локалізуються в долинах річок та їх притоках. Як правило, джерела забруднень знаходяться вище по рельєфу – на вододілі і схилі долин. Спочатку забруднюється зона аерації в межах області живлення водоносних горизонтів. Досягнувши першого від поверхні землі водоносного горизонту та засоливши його, ореол забруднення опускається нижче по розрізу, він є витягнутим у напрямку розвантаження підземних вод – від вододілу по схилу і до долини річки, по бортах якої східчасто розвантажуються водоносні горизонти четвертинних відкладів, які піддаються засоленню. Саме тому коли ореол засолення поширюється по всій товщі водоносних порід, реабілітація горизонтів затягується на довгі роки.

В області живлення річок зазвичай знаходиться декілька джерел забруднення, вони діють періодично. Дослідження [4] глибин, на яких залягають четвертинні та неогенові відклади,

Таблиця

Результати аналізу та моделювання хімічного складу підземних вод

Компонент (мг/л), параметр	Склад підземних вод зони активного водообміну (фонове значення)		Склад підземних вод зони утрудненого водообміну (св. 299)		Склад підземних вод зони застійного режиму (розсоли)	
	лабораторний аналіз	модель	лабораторний аналіз	модель	лабораторний аналіз	модель
Температура	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5
pH	7,59	7,547	7,18	5,58	6,34	6,34
Eh, mB	+0,911	+0,915	+1111	+1115,9	891	895
Cl ⁻	71,47	71,50	104,8	98,84	87040,95	66516,84
SO ₄ ²⁻	45,22	44,05	923,5	992,88	122,86	34,04
HCO ₃ ⁻	345,99	254,85	175,75	200,87	195,55	135,33
Ca ²⁺	85,05	67,43	399,8	352,45	1067,33	1223,75
Ca(HCO ₃) ⁺	9,01	7,97	0,24	0,13	38,22	40,34
Mg ²⁺	35,08	34,33	46,9	39,23	2214,43	1887,12
MgSO ₄ ⁺	8,01	7,11	30,11	34,21	27,10	25,82
(Na+K) ⁺	45,33	33,95	85,34	85,94	39342,45	39385,04
Na ⁺	35,31	32,11	82,64	79,32	32231,31	32119,48
NaSO ₄ ⁻	0,28	0,32	5,1	5,12	53,86	55,01
Br ⁻	0,25	0,25	0,5	0,5	295,05	295,52
NO ₃ ⁻	2,19	1,03	0,08	0,08	0,35	0,2
O ₂	2,01	1,35	4,72	3,99	13,97	12,38
N ₂	3,31	2,09	18,94	20,95	25,44	21,79

показують регіональне забруднення, а на невеликих глибинах відзначаються дрібні, локальні ореоли засолення та зони різної промитості розрізу, що обумовлені впливом рельєфу і рухом ґрунтових та поверхневих вод.

Вирішальну роль для захисту від потрапляння забруднюючих речовин «зверху» відіграє зона аерації, захищеність підземних вод від забруднення. Складні та неординарні гідрогеологічні умови створюють сприятливе середовище для міграції водоносних забруднень.

Під терміном забруднення «знизу» розуміємо надходження солених вод знизу за рахунок висхідних перетоків. Шляхами міграції таких перетоків є літологічні вікна, тектонічні порушення, затрубний простір свердловин за відсутності за колонного цементу. Забруднення «знизу» визначається як природними, так і техногенними факторами. До природних належить надходження розсолів тріщинуватими каналами, до техногенних – наявність неякісно зацементованого за колонного простору свердловини у випадках, коли поточний пластовий тиск перевищує гідростатичний. Відомі випадки, коли з причини несправного технічного стану та неякісного цементажу експлуатаційних колон і кондукторів здійснювалося пряме нагнітання стічних вод у питний водоносний горизонт через наскрізні отвори інтервалу кондуктора.

Результати досліджень [4] свідчать про те, що велику небезпеку щодо засолення підземних вод знизу являють собою зони високих пластових тисків (за наявності свердловин із низьким рівнем підйому цементу і порушенням герметичності колони). Висхідні за колонні перетоки, що виникають при цьому, часто досягають рівня прісних підземних вод. Якщо зони підвищених пластових тисків збігаються із зонами інтенсивної тріщинуватості порід, то природні і техногенні фактори діють спільно.

Завдання фізико-хімічного моделювання полягало у вивченні принципів формування складу високомінералізованих вод та встановленні можливих шляхів надходження і міграції забруднюючих речовин у прісні води.

Для імітації реальних умов було зроблено спробу врахувати всі основні компоненти, які можуть бути наявні у водній системі за нормальної температури, тиску і широкого діапазону значень pH і Eh. Перелік компонентів водного розчину склали відповідно до дійсного складу підземних вод і розсолів. Незалежні компоненти у створеній мультисистемі: Cl-C-S-Ca-Mg-Na-K-N-F-Br-Sr-Fe-Al-Si-O-H. Загалом список базової мультисистеми включав понад 500 компонентів ($n=536$) і складався із компонентів розчину ($n=356$), газової фази ($n=16$) та ряду твердих мінеральних фаз ($n=58$). Газову фазу розглядали як ідеальну суміш реальних газів, вона вміщувала SO₂, H₂S, N₂, O₂, CO₂, CO, CH₄, H₂O_{газ}. Склад 1 кг повітря атмосфери розглядався як: Ar – 0,934 % об'єму, N – 78,084 % об'єму, O – 20,946 % об'єму, інертні гази – CO₂ – 0,035 %, CH₄ – 0,001745, H₂ – 0,000055 %. Моделювання виконували в температурному інтервалі від 4 до 40 °C і при тиску в 1 бар (10⁵Па). Цей температурний режим притаманний області поширення холодних і слаботермальних вод, у яких можлива інтенсивна бактерицидна діяльність. До того ж температура 40 °C є межею, наближеною до зони гіпергенезу [6]. При цьому як нижня, так і верхня межі відповідають особливим температурним режимам води, що відповідають її

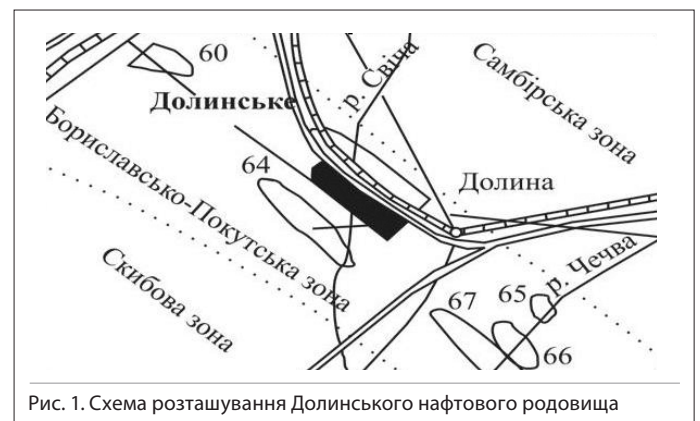


Рис. 1. Схема розташування Долинського нафтового родовища



Рис. 2. Аварійний розлив високомінералізованих розсолів із трубопроводу

структурним перетворенням. Зокрема, верхня межа (40 °С) – це так звана «характерна температура Менделєєва», із досягненням якої відбувається різка зміна електропровідності води. Тут можна зазначити, що при температурі 42,5 °С відбувається структурне перетворення гіпсу в ангідрид і навпаки.

Побудова численних моделей полягала в розрахунку рівноважного стану для системи «водний розчин–гірська порода». Важливим аспектом моделювання вважається вибір границі моделювання та калібрування початкових векторів концентрації по відношенню до результатів хімічних аналізів, одержуваних у лабораторних умовах. З цією метою у першому варіанті моделі було проведено розрахунки за такої умови, щоб розрахунковий склад підземної води, якщо це можливо, повністю відповідав складу, який спостерігається в природних умовах. Другий варіант цієї ж моделі був такий: для розрахункового складу води підбирали рівноважний мінералогічний склад осаду, який і був водовмісним. Було складено три базові моделі. Перша – для фонових складів вод (чистих вод) зони активного водообміну, друга – для солених вод, відібраних зі св. 299-Долина (зони утрудненого водообміну), і третя – для хлоридних розсолів із зони застійного режиму.

Після того, як було отримано базові чисельні моделі, приступали до розрахунку моделей, що імітують процеси змішування прісних підземних вод із розсолами і солоними водами. Для проведення розрахунків припускали, що розсоли і солені підземні води можуть надходити як із денної поверхні (через породи зони аерації), так і гідрогеологічними каналами або техногенним шляхом, безпосередньо змішуючись із прісними підземними водами.

У разі надходження розсолів із денної поверхні через зону аерації враховувалося, що доступ атмосферного повітря у водонесний горизонт через породи зони аерації був достатнім для того, щоб зберігалися окислювальні умови.

У разі створення моделей, що імітують надходження розсолів або солених підземних вод безпосередньо «знизу», рівновага досягалася шляхом обмеженого надходження атмосферного повітря.

Усі обчислення проводили в розрахунку на 10 мг води при температурах 7, 12, 27 і 40 °С.

Із метою отримання результатів, які були б максимально наближені до наявних аналітичних даних, розрахунки було прове-

дено без урахування складу водовмісних порід. У таблиці приведено результати чисельного моделювання. Вони показують, що розраховані концентрації практично повністю відповідають даним хімічного аналізу. Деяку невідповідність між розрахунковими і аналітичними даними можна пояснити складністю отримання повної картини для модельних розрахунків, а також неможливістю абсолютно точно відтворити як склад води, так і склад (особливо мінералогічний) водовмісної товщі.

У роботі представлено лише результати хімічного аналізу та чисельного моделювання, які вдалося перевірити у лабораторних умовах. На цьому етапі вивчення компонентного складу підземних вод та його подальше моделювання не приймається. Автори ведуть подальші лабораторні дослідження з метою вивчення інших хімічних елементів (зокрема, H_2CO_3 , CaSO_4^+ , CaCl^+ , NaSO_4^- , NaCl^+ , Fe^{2+} , FeCO_3^+), які входять до хімічного складу підземних вод.

Висновок

Враховуючи вищесказане, можемо стверджувати, що одним із основних аспектів моделювання техногенної трансформації високомінералізованих вод під час забруднення водонесних горизонтів є вибір границі моделювання і калібрування початкових векторів концентрації по відношенню до результатів хімічних аналізів, які були отримані в лабораторних умовах. Результати чисельного моделювання свідчать про те, що розраховані концентрації хімічних елементів відповідають даним хімічного аналізу. Незначна відмінність між розрахунковими і аналітичними даними пояснюється складністю в отриманні повної картини під час модельних розрахунків, а також неможливістю точно відтворити хімічний склад води та мінералогічний склад водовмісної товщі.

Список літератури

1. **Гаев А.Я.** О возможности захоронения стоков Березниковского промвузла в карстовых коллекторах // Вопросы загрязнения подземных вод и борьба с ними: статьи / А.Я. Гаев, Г.Г. Жидкова. – Пермь: ПГУ, 1971. – С. 12–25.
2. **Васильев А.Н.** Организация гидрохимического мониторинга в условиях нефтегазоносного северо-восточной Украины / А.Н. Васильев, Н.Е. Журавель. – Харьков: Епограф, 2001. – С. 112.
3. **Депутат Б.Ю.** Підвищення екологічної безпеки нафтових родовищ на кінцевій стадії розробки: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. тех. наук: спец. 21.06.01 «Екологічна безпека» / Депутат Богдан Юліанович; Івано-Франківський нац.техн. ун-т нафти і газу. – Івано-Франківськ, 2007. – 19 с.
4. **Семчук Я.** Захист ґрунтових вод від сольового забруднення / Ярослав Семчук, Богдан Депутат // Екотехнології и ресурсосбережение. – 2006. – № 3. – С. 48–52.
5. **Захоронення** промислових стічних вод як один із методів захисту гідросфери у районах інтенсифікації видобутку нафти // Міжнародна молодіжна наукова конференція «Планета – наш дом», 16 квітня 2010 р. – Алчевськ. 36. статей / відп. ред. Л.П. Полехіна. – Алчевськ: вид-во ДонГТУ, 2010. – 212 с.
6. **Соловьев В.Е.** Опыт применения новых коагулянтов на основе солей алюминия на станциях водоподготовки г. Перми / В.Е. Соловьев, К.И. Фролов, В.П. Чипкина [и др.] // Вода и экология. – 2000. – № 3. – С. 23–25.