

## Стан фонду експлуатаційно-нагнітальних свердловин

УДК 66.076.550.4

### ДОСВІД ЗАСТОСУВАННЯ ТА УДОСКОНАЛЕННЯ ГАЗОГЕОХІМІЧНИХ МЕТОДІВ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ГЕРМЕТИЧНОСТІ ПІДЗЕМНИХ СХОВИЩ ГАЗУ

© М.С. Знак<sup>1</sup>, Б.Й. Масвський<sup>1</sup>, Я.І. Лопушняк<sup>1</sup>,  
М.Д. Гебура<sup>2</sup>, Л.В. Мисліборський<sup>2</sup>, П.М. Мельничук<sup>3</sup>, В.І. Кучак<sup>3</sup>

1) ІФНТУНГ; 15, вул. Карпатська, м. Івано-Франківськ, 76019. Тел. (03422) 42027

2) УМГ „Прикарпаттрансгаз”, 48, вул. Незалежності, м. Івано-Франківськ, 76000.

3) ДАТ “Чорноморнафтогаз”; 52/1, пр. Кірова / пер. Совнаркомівський, м. Сімферополь, 95000

Рассмотрены вопросы использования приповерхностных газогеохимических методов для контроля герметичности подземных хранилищ газа (ПХГ).

Приводятся примеры применения разных видов традиционных газогеохимических исследований, а также новых технологий газодобитной съёмки и съёмки по свободному подпочвенному газу. Даются рекомендации по основным направлениям использования приповерхностных газогеохимических методов для контроля герметичности ПХГ.

In the article there have been considered the issues concerning the usage of the surface gas geochemical methods for the control of impermeability of underground storage facilities. There have been given examples of the application of different kinds of the traditional gas geochemical investigations; of new technologies applied to the gas flow rate survey and of the survey according to the free underground gas. Recommendations of main directions of surface gas geochemical methods use for UGSF impermeability control are given.

Дослідне нагнітання газу в бат-байоський горизонт малоамплітудного Олішевського підняття у травні 1964 р. стало початком розвитку нового напрямку в галузі газової промисловості України – підземного зберігання газу.

Ця подія зумовила започаткування та розвиток нових видів науково-технічних і науково-технологічних досліджень і розробок для вирішення проблем, які пов'язані з особливостями процесів створення та режиму експлуатації підземного сховища газу (ПСГ) у залежності від його типу (у водоносному пласті склепінноподібного підняття чи у виснаженому покладі газового родовища).

Серед найважливіших і найскладніших проблем є проблема втрат газу з об'єкта його зберігання та вплив на довкілля. Суть проблеми полягає в тому, що ПСГ працюють у напруженому знакоперемінному режимі, при якому за рік спочатку нагнітанється, а потім відбирається до 60% запасів газу і при цьому змінюються циклічно всі технологічні параметри. Високі темпи нагнітання газу можуть призвести до неконтрольованого перетікання газу за межі проектного ГВК у водоносній структурі, а циклічний характер роботи ПСГ – до розгерметизації заколонного простору свердловин, покритишки ПСГ і наявних тектонічних порушень для обох типів ПСГ.

Для прогнозування герметичності підземних газосховищ, що створюються у водоносних структурах, зазвичай використовуються геологічні, гідрохімічні, гідродинамічні методи, а для контролю за роботою ПСГ додатково ще використовуються геофізичні та газодинамічні методи досліджень. Застосування вказаних методів та їх проведення здійснюється з використанням спостережливих свердловин, яких, як правило, на площі ПСГ не завжди достатньо, і не завжди вдало розташовані. Тому результати проведених у цих свердловинах досліджень мають не високу детальність та інформативність.

У 1973 році Івано-Франківським інститутом нафти і газу за наукової і фінансової підтримки “УкрНДІГаз”, Укргазпрому” започатковано впровадження в практику газогеохімічних методів для контролю герметичності підземних сховищ газу.

Газогеохімічні дослідження, що використовуються для оцінки герметичності підземних сховищ газу є частиною прямих геохімічних методів пошуків нафтових і газових родовищ, розроблених на запропонованій у 1933 р. В.А. Соколовим міграційної теорії. Основними формами міграції газу із покладів до земної поверхні за В.А. Соколовим є фільтрація (ефузія), спливання газу та дифузія.

Дифузія розглядається як найбільш поширений процес міграції газу, і з огляду на проблему герметичності ПСГ, є найбільш безпечним процесом. Але, як показує практика, за декілька років може частково “розгерметизувати” заколонні простори свердловини і тектонічні порушення, що створює умови для поступового переходу процесу дифузії газу в ефузію та спливання з утворенням перетікання газу та його витікання на денну поверхню. Разом з цим, цей процес не відбувається миттєво, а розвивається поступово. Тому важливо своєчасно виявити ділянки підсилення міграції газу до денної поверхні на стадії безпечного проявлення. Виконання цього завдання і покладено на приповерхневі газохімічні методи, за допомогою яких концентрація вуглеводневих газів у породі, воді та газоповітряній суміші можна визначити від  $n \cdot 10^{-4}$  об’ємних часток відсотка до десятків відсотків завдяки використанню газової хроматографії.

Перші випробування з використанням ґрунтово-газової зйомки для оцінки герметичності заколонного простору свердловин були проведені на Угерському ПСГ. У результаті виконаних досліджень було виявлено декілька свердловин з порушеною герметичністю заколонного простору та окреслено межі розповсюдження ореолів аномальних концентрацій вуглеводневих газів у приповерхневих відкладах.

Наступні випробування приповерхневої газової зйомки були проведені у 1974 р. на Червонопартизанському ПСГ, приуроченому до водоносного горизонту бат-байоських відкладів одноіменної антиклінальної структури. Структура ускладнена великою кількістю тектонічних порушень, одне з яких (основне) амплітудою близько 20 м розділяє її на два блоки: південно-східний припіднятий і південно-західний – опущений. Перший раз газова зйомка була проведена до початку промислового нагнітання газу, тобто за наявності буферного об’єму газу тільки в південно-східному блоці.

У результаті виконаних досліджень були встановлені газові аномалії, які свідчили про наявність вертикального перетікання газу через основне тектонічне порушення на північно-східному крилі структури та через ряд негерметичних свердловин південно-східного блоку. Повторні дослідження через два місяці після початку промислового нагнітання газу в південно-східний блок показали, що кількість газових аномалій та їх контрастність різко зросли. Крім того, виявлена газова аномалія на північно-західному блоці Червонопартизанської структури, куди газ взагалі не нагнітався, що свідчило про наявність перетікання газу з південно-східного блоку в північно-західний [1].

Таким чином, проведені на Червонопартизанському ПСГ геохімічні дослідження дозволили виявити наявність вертикальних перетоків газу, які досягали денної поверхні та перетікання газу із південно-східного блоку в північно-західний. Наявність газу в північно-західному блоці та створеної ним газової аномалії було підтверджено згодом бурінням водяної свердловини, в якій з глибини 80 м отримали незначний приплив газу.

З 1974 р. почалося випробування, розробленого в ІФІНГ, пристрою для проведення газодобітної зйомки, яка дала б можливість виявити та оцінити кількісне витікання вуглеводневих газів з території ПСГ в атмосферу та визначити склад газу, що витікає [2,3]. Газодобітна зйомка проводиться в тих пунктах, що і ґрунтово-газова. Після проведення замірів і аналізів газу на хроматографі розраховується витік вуглеводневих газів в атмосферу з  $1 \text{ м}^3$  в добу.

Газогеохімічними дослідженнями, проведеними в 1975 р. на Ольшевському та Червонопартизанському ПСГ, встановлено, що до кінця циклу нагнітання газу (жовтень) газонасиченість ґрунтів і вільне витікання вуглеводневих газів у атмосферу в пунктах, розташованих біля експлуатаційних свердловин, набагато перевищує значення, встановлені в літній період (липень), що зумовлено недостатньою герметичністю затрубного простору обсаджених свердловин. Так, наприклад, у свердловині 52 Червонопартизанського ПСГ, біля якої встановлено аномальні концентрації газонасиченості порід і витікання вуглеводневого газу в атмосферу, геофізичними дослідженнями виявлено наявність газу в заколонному просторі по всьому стовбурі, а також по всій товщині приповерхневого водоносного горизонту [2].

Основна складність при інтерпретації виконаних газогеохімічних досліджень полягала у відсутності фонових значень газогеохімічних показників, визначених до початку створення ПСГ, а також їх сезонних коливань на кожному окремому підземному сховищі газу.

Вперше такі газогеохімічні дослідження були виконані на площі виснаженого Опарського газового родовища з метою визначення фонових значень та їх сезонних коливань у зв'язку зі створенням тут ПСГ. У результаті проведених досліджень встановлено, що вуглеводневі гази, які насичують підгрунтові відклади, приповерхневі води що вільно витікають в атмосферу як літом, так і восени представлені, в основному, метаном. Виділені зони відносних аномальних концентрацій вуглеводневих газів як літом так і восени практично співпадають, але в абсолютних величинах мають суттєву відмінність. Так, до осені спостерігається площове збільшення газонасичених підгрунтових відкладів і приповерхневих вод, що пов'язано, переважно зі зменшенням майже удвічі температури в підгрунтових відкладах і приповерхневих водах. Це явище в практиці газогеохімічних досліджень називається сезонними коливаннями газогеохімічних показників.

Сезонний характер зміни величини витікання вуглеводневих газів з території виснаженого Опарського газового родовища в атмосферу встановлений вперше. Кількість вуглеводневих газів, що вільно виділяються в атмосферу з території від літа до осені змінюється обернено до газонасиченості підгрунтових відкладів в одному і тому ж пункті заміру. Тоді як газонасиченість підгрунтових відкладів до осені зростає у 2 і більше разів, вільне витікання вуглеводневих газів в атмосферу зменшується до мізерної величини, або взагалі відсутнє [4]. Це явище, яке встановлене вперше, дозволяє використовувати запропоновану технологію газодобірної зйомки як одну із основних при контролі герметичності ПСГ, так як кінець циклу нагнітання газу припадає, переважно, на жовтень-листопад.

У сейсмічно активних регіонах, до яких відноситься Карпатський, при визначенні фонових величин газогеохімічних показників необхідно враховувати вплив землетрусів на дегазацію надр. Так, на підставі проведених масових газогеохімічних досліджень на ПСГ, створених у виснажених газових покладах Передкарпатського прогину встановлено, що мінімальні значення газонасиченості вод і порід, а також вільне витікання вуглеводневих газів з території ПСГ в атмосферу спостерігаються в пробах, відібраних на менше як за 10 діб до початку землетрусу, а максимальні – асимптотично наближаються до дня землетрусу [5,6]. У зонах розповсюдження тектонічних порушень спостерігається більш інтенсивна дегазація надр, причому, у деяких випадках спостерігається перевищення вмісту важких вуглеводнів над метаном. Тому, в сейсмічно активних зонах необхідно враховувати ефект підвищення дегазації надр, зумовлений землетрусами.

Багаторічні газогеохімічні дослідження на площах підземних газосховищ, створених у водоносних пластах (Олішевське, Червонопартизанське) і у виснажених газових покладах (Угерське, Дашавське, Опарське, Більче-Волицько-Угерське), показали, що розраховані поточні фонові величини газонасиченості підгрунтових відкладів і приповерхневих вод, а також витікання газу з території ПСГ в атмосферу для газових сховищ, створених у водоносних структурах, майже удвічі більші, ніж для газосховищ, створених у виснажених газових покладах, що свідчить про гіршу "газову герметичність" надр ПСГ першого типу [7].

Одним зі своєрідних у західному регіоні з погляду на особливості геологічної будови та геоморфології поверхні, є Богородчанське ПСГ. Структура бувшого газового покладу, де створене газосховище, ускладнена Стебницьким насувом та тектонічними порушеннями. Основна частина території ПСГ знаходиться на припіднятій терасі межиріччя Бистриці Надвірнянської та Саджавки. Береги схилів терас круті, і зі сторони річок ускладнені зсувними процесами. Окрім того, в межах території гірничого відводу Богородчанського ПСГ знаходяться населені пункти Старі Богородчани та Саджава.

Газохімічні обстеження території Богородчанського ПСГ та населених пунктів у межах гірничого відводу ПСГ постійно проводяться з 1985 року. Тут систематично виконуються газогеохімічні дослідження питних вод у криницях і газоповітряної суміші з підвальних приміщень будинків населених пунктів, а також пластових вод і газоповітряної суміші контрольно-розвантажувальних свердловин, пробурених безпосередньо над ПСГ, або що його оконтурюють.

Аналіз результатів, проведених за останні три роки, газохімічних досліджень на Богородчанському ПСГ показав, що концентрація метану в пробах питних вод населених пунктів практично не перевищує ГДК для жилих зон. Об'ємна частка вмісту метану в пробах повітря з підвальних приміщень переважно значно менша ГДК жилих зон і тільки в декількох пробах у весняний період де-що перевищує ГДК.

У пробах пластової води та газоповітряної суміші контрольньо-розвантажувальних свердловин концентрація метану на декілька порядків перевищує його вміст у пробах питних вод населених пунктів. Кількість свердловин з аномальним вмістом метану у пробах пластової води та газоповітряної суміші з року в рік посезонно змінюється від 1 до 5-7, що свідчить про періодичність підтікання метану у верхній водоносний горизонт і його періодичне розгазування.

За останні три роки великий об'єм газогеохімічних досліджень проведено на Глібовському ПСГ у Криму.

Глібовське ПСГ створюється у виснаженому масивно-пластовому склепінному покладі одноім'яного газового родовища, приуроченого до карбонатних порід нижнього і верхнього палеоцену.

На початок проведення газогеохімічних досліджень (2001р.) Глібовське ПСГ знаходилося на початковій стадії створення. Максимально досягнутий тиск газу в кінці циклу нагнітання не перевищував 35% від проектного. Тому, основним завданням газогеохімічних досліджень було оцінити природню успадкованість загазованості приповерхневих відкладів і тектонічних порушень, створену в процесі розробки Глібовського газового родовища, а також оцінити ступінь загазованості підгрунтових відкладів навколо свердловин з міжколонними тисками газу.

Для проведення газогеохімічних досліджень на площі Глібовського ПСГ була застосована нова технологія зйомки для відбору підгрунтового газу (вільного газу) з використанням пристрою та технології, розробленої в ІФНТУНГ. За період 2001-2003 рр. за вказаною технологією на території Глібовського ПСГ проведені площова газова зйомка, газова зйомка вздовж тектонічних порушень і кушова газова зйомка навколо свердловин з міжколонними тисками газу.

У результаті проведених за 2001-2003 рр. газогеохімічних досліджень на Глібовському ПСГ встановлено, що вуглеводневий газ у підгрунтовій атмосфері території ПСГ та вздовж тектонічних порушень представлений тільки метаном. Вміст метану вільного стану в підгрунтових відкладах не перевищує фонові значення, встановлені "Інструкцією" СТК 320.200077720.016 – 2000 НАК "Нафтогаз України" (Таблиця 1). Одержані дані будуть прийняті як базові для порівняння з аналогічними газогеохімічними дослідженнями, що проводитимуться в майбутньому при виході Глібовського ПСГ на проектний режим експлуатації.

За цей же період кушовою газовою зйомкою було обстежено 37 свердловин Глібовського ПСГ з міжколонними тисками газу. Біля деяких свердловин, у залежності від результатів попередніх досліджень, кушова газова зйомка виконана від 2 до 5 разів. У результаті проведених досліджень серед обстежених свердловин виявлено ореоли аномальних концентрацій метану (гранично допустимі) біля 9 свердловин і високо-аномальних (помірно небезпечних) – біля двох свердловин. Навколо решта свердловин вміст метану в підгрунтових відкладах знаходиться в межах фонових (безпечних) величин.

Таким чином, виходячи із наведеного вище досвіду, застосування газогеохімічних досліджень та їх удосконалення відповідно до вирішення питань оцінки герметичності ПСГ та охорони довкілля можна рекомендувати наступні напрямки їх проведення :

- контроль загазованості території ПСГ і питних вод прилеглих населених пунктів;
- контроль за герметичністю тектонічних порушень;
- виявлення шляхів міграції та зон нагромадження "блукаючого газу" за межами структури ПСГ;
- контроль герметичності заколонного простору свердловин;
- кількісна оцінка втрати газу з території ПСГ в атмосферу;
- оцінка стану навколишнього середовища на території ПСГ і прилеглих населених пунктів.

Таблиця 1 – Вміст метану в підгрунтовій атмосфері на території Глібовського ПСГ (вересень, 2001р.)

| Пункт відбору проби | Вміст метану, % об. | Пункт відбору проби | Вміст метану, % об. | Пункт відбору проби | Вміст метану, % об. | Пункт відбору проби | Вміст метану, % об. |
|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 1                   | 0,00035             | 43                  | 0,00022             | 85                  | 0,00049             | 127                 | 0,00041             |
| 2                   | 0,00035             | 44                  | 0,00044             | 86                  | 0,00044             | 128                 | 0,00038             |
| 3                   | 0,00071             | 45                  | 0,00055             | 87                  | 0,00044             | 129                 | 0,00022             |
| 4                   | 0,00030             | 46                  | 0,00041             | 88                  | 0,00033             | 130                 | 0,00027             |
| 5                   | 0,00038             | 47                  | 0,00041             | 89                  | 0,00046             | 131                 | 0,00085             |
| 6                   | 0,00060             | 48                  | 0,00033             | 90                  | 0,00027             | 132                 | 0,00027             |
| 7                   | 0,00044             | 49                  | 0,00132             | 91                  | 0,00046             | 133                 | 0,00022             |
| 8                   | 0,00041             | 50                  | 0,00035             | 92                  | 0,00030             | 134                 | 0,00027             |
| 9                   | 0,00035             | 51                  | 0,000303            | 93                  | 0,00041             | 135                 | 0,00030             |
| 10                  | 0,00044             | 52                  | 0,000192            | 94                  | 0,00030             | 136                 | 0,00033             |
| 11                  | 0,00044             | 53                  | 0,000275            | 95                  | 0,00038             | 137                 | 0,00038             |

Продовження таблиці 1.

| Пункт відбору проби | Вміст метану, % об. | Пункт відбору проби | Вміст метану, % об. | Пункт відбору проби | Вміст метану, % об. | Пункт відбору проби | Вміст метану, % об. |
|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 12                  | 0,00041             | 54                  | 0,00041             | 96                  | 0,00071             | 139                 | 0,00013             |
| 13                  | 0,00046             | 55                  | 0,00041             | 97                  | 0,00068             | 140                 | 0,00013             |
| 14                  | 0,00035             | 56                  | 0,00044             | 98                  | 0,00068             | 141                 | 0,00011             |
| 15                  | 0,00063             | 57                  | 0,00038             | 99                  | 0,00104             | 142                 | 0,00019             |
| 16                  | 0,00066             | 58                  | 0,00030             | 100                 | 0,00187             | 143                 | 0,00019             |
| 17                  | 0,00071             | 59                  | 0,00038             | 101                 | 0,00611             | 144                 | 0,00019             |
| 18                  | 0,00046             | 60                  | 0,00041             | 102                 | 0,00052             | 145                 | 0,00016             |
| 19                  | 0,00046             | 61                  | 0,00041             | 103                 | 0,00052             | 146                 | 0,00011             |
| 20                  | 0,00049             | 62                  | 0,00041             | 104                 | 0,00046             | 147                 | 0,00016             |
| 21                  | 0,00038             | 63                  | 0,00057             | 105                 | 0,00060             | 148                 | 0,00016             |
| 22                  | 0,00035             | 64                  | 0,00049             | 106                 | 0,00057             | 149                 | 0,00016             |
| 23                  | 0,00046             | 65                  | 0,00046             | 107                 | 0,00049             | 150                 | 0,00016             |
| 24                  | 0,00044             | 66                  | 0,00063             | 108                 | 0,00038             | 151                 | 0,00008             |
| 25                  | 0,00033             | 67                  | 0,00055             | 109                 | 0,00022             | 152                 | 0,00008             |
| 26                  | 0,00038             | 68                  | 0,00035             | 110                 | 0,00035             | 153                 | 0,00008             |
| 27                  | 0,00071             | 69                  | 0,00033             | 111                 | 0,00024             | 154                 | 0,00016             |
| 28                  | 0,00024             | 70                  | 0,00041             | 112                 | 0,00035             | 155                 | 0,00013             |
| 29                  | 0,00024             | 71                  | 0,00044             | 113                 | 0,00033             | 156                 | 0,00005             |
| 30                  | 0,00046             | 72                  | 0,00038             | 114                 | 0,00027             | 157                 | 0,00011             |
| 31                  | 0,00027             | 73                  | 0,00044             | 115                 | 0,00022             | 158                 | 0,00008             |
| 32                  | 0,00030             | 74                  | 0,00041             | 116                 | 0,00038             | 159                 | 0,00002             |
| 33                  | 0,00035             | 75                  | 0,00041             | 117                 | 0,00035             | 160                 | 0,00005             |
| 34                  | 0,00041             | 76                  | 0,00035             | 118                 | 0,00035             | 161                 | 0,00005             |
| 35                  | 0,00046             | 77                  | 0,00038             | 119                 | 0,00035             | 162                 | 0,00011             |
| 36                  | 0,00049             | 78                  | 0,00057             | 120                 | 0,00030             | 163                 | 0,00008             |
| 37                  | 0,00035             | 79                  | 0,00074             | 121                 | 0,00044             | 164                 | 0,00011             |
| 38                  | 0,00041             | 80                  | 0,00060             | 122                 | 0,00022             | 165                 | 0,00008             |
| 39                  | 0,00041             | 81                  | 0,00085             | 123                 | 0,00038             | 166                 | 0,00011             |
| 40                  | 0,00041             | 82                  | 0,00055             | 124                 | 0,00016             | 167                 | 0,00008             |
| 41                  | 0,00041             | 83                  | 0,00055             | 125                 | 0,00022             | 168                 | 0,00008             |
| 42                  | 0,00035             | 84                  | 0,00052             | 126                 | 0,00248             | 169                 | 0,00002             |

## Література

1. Борковский А.А., Знак М.С., Филатов В.М. Результаты контроля за герметичностью Червонопартизанского подземного хранилища газа // Реферативная информация о законченных научно-исследовательских работах в вузах УССР. – 1977. – Вып.11. – С. 72-73.
2. Знак М.С., Борковский А.А., Крупский Ю.З. Использование геохимических методов для контроля за герметичностью подземных хранилищ газа // Разведка и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 1978. – Вып.15. – С. 10-12.
3. Знак М.С., Кучак В.И. Газодебитная съёмка и устройство для её выполнения // Разведка и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 1985. – Вып.22. – С.98-99.
4. Знак М.С., Крупский Ю.З., Могилевский Г.А. Некоторые особенности геохимических исследований при контроле за герметичностью подземных хранилищ газа Украины // Реферат. сборник Газовая промышленность. – Серия: геология и разведка газовых и газоконденсатных месторождений. – 1979. – Вып.2. – С15-19.
5. Знак М.С., Маевский Б.И., Лозинский О.Е. О влиянии замлетрясений на герметичность ПХГ и прямые поиски залежей УВ // Нефтяная и газовая промышленность. – 1986. – №1. – С.45-46.
6. Знак М.С., Маевский Б.И. Особенности флюктуации фонового метаносодержания в приповерхностных образованиях внешней зоны Предкарпатского прогиба // Геология и геохимия горючих ископаемых. – 1988. – Вып.71. – С.28-30.
7. Знак М.С., Войцицкий В.П., Кривко Я.С. Геохимический метод контроля герметичности подземных хранилищ газа // Нефтяная и газовая промышленность. – 1984. – №3. – С. 47-48.