

УДК 553.981.4:622.279(477.6)

## ПОКАЗНИКИ ГАЗОВОЇ СКЛАДОВОЇ ЯК ОЗНАКИ ДЖЕРЕЛ ГАЗОНАСИЧЕННЯ ВІДПРАЦЬОВАНОГО ПРОСТОРУ ДІЮЧИХ ШАХТ ДОНБАСУ

Євдощук М. І., Вергельська Н. В.

(Інститут геологічних наук НАНУ, м. Київ, Україна)

*Рассматривается качественная газовая характеристика отработанного пространства на основании изучения остаточной газовой составляющей. В результате исследований установлено, что качественная составляющая и количество газа в отработанном пространстве коррелируется с тектоническими нарушениями в угленородном массиве. Рассматриваются аспекты возможного происхождения отдельных газов угленородного массива и отработанного пространства.*

*We consider the qualitative gas component of the worked area based on the study of the residual gas component. The study determines that the qualitative component and the amount of gas in the worked area correlate with tectonic faults in coal-rock mass. We also consider the aspects of potential origin of certain gases of coal-rock mass and the worked area.*

**Вступ.** За ресурсами метану вугільних родовищ Україна займає четверте місце у світі. Загальні ресурси вугільного метану оцінюються фахівцями від 12,0 до 25,0 трлн м<sup>3</sup>, з них видобувні складають 3,0 – 3,5 трлн м<sup>3</sup>, з яких близько 50 % первинних ресурсів газу вугільних родовищ залишається у відпрацьованому просторі діючих шахт чи закритих шахтах.

Значні ресурси газу вугільних родовищ на території України використовуються лише на окремих шахтах, коли метанова частка сягає понад 25 % всієї газової суміші. Якісні характеристики

газової суміші вугільних родовищ постійно змінюється за розрізом і по падінню пласта та особливо чітко вирізняє тектонічно порушені зони у вугільних пластах.

При відпрацюванні вугільних пластів створюються нові шляхи міграції вуглеводнів та колектори, які перевершують попередні за об'ємами та пористістю, сприяють перерозподілу газоносності вуглепородного масиву.

Дослідження природи та складу вугільних газів, їх поширення у вугільних пластах, вміщуючих породах та відпрацьованих просторах на сьогодні є одним із першочергових питань вугільної геології [1, 2].

Генетична належність газу та визначення шляхів його міграції ті зон акумуляції у вуглепородних масивах, як у непорушених товщах так і у відпрацьованому просторі діючих шахт, надають можливість прогнозування ділянок придатних для проведення попередньої, супутньої та постексплуатаційної дегазації. Протягом останніх років значний інтерес викликає дослідження відпрацьованого простору діючих та закритих шахт Донецького басейну з метою виявлення газових покладів та можливості їх промислового використання.

Встановлення генетичної належності газів, як ознака джерела газонасичення вуглепородного масиву відпрацьованого простору діючих шахт сприятиме підвищенню якості прогнозування оцінки при розробці комплексних програм утилізації газу-вугільних родовищ, як діючих шахт так і відпрацьованого простору діючих чи закритих шахт.

**Методи та матеріали дослідження.** Протягом 2011-2013 років було проведено ряд польових і лабораторних досліджень вуглепородних масивів Донецького басейну переважно в Донецько-Макіївському та Красноармійському вуглепромислових районах. Для даного дослідження було відібрано газові проби на шахтах: ім. О. Ф. Засядька (пласт  $m_3, l_4$ ), ДП ВК «Краснолиманська» (пласти  $m_4^2, l_3, k_5$ ), «Свято-Покровська» (пластів  $m_4^2$ ) та виконано лабораторні хроматографічні дослідження. За результатами аналізу цих проб встановлену якісну і кількісну залишкову газову складову у вугільних пробах та у забутованому відпрацьованому просторі.

Мета дослідження – визначення якісних газових показників та характеру їх зміни у відпрацьованому просторі діючих шахт і встановлення їх взаємозв'язку з тектонічними порушеннями у вуглепородному масиві (шляхами міграції).

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Сучасний стан газонасиченості вуглепородного масиву є результатом тектонічних процесів протягом чотирьох етапів: від пермі до неогену, які є син- та постгенетичними відносно періодів формування вугільних пластів. Глибинна будова та аналіз матеріалів з історії геологічного розвитку Донецького вугільного басейну свідчить, що утворення і формування складчастих форм масиву відбувалося протягом всієї геологічної історії розвитку регіону. Формування різнонаправлених зон глибинних розломів відбувалося одночасно та багаторазово. За даними І. О. Майдановича та А. Я. Радзівілла [12, 13] в періоди тектонічної активізації, за умов збереження загального плану глибинних тектонічних порушень (наприклад, Волновахо-Чорнухінського та Єламчик-Ровеньківського глибинних розломів) і контролюючих ними складчастих форм (Складчастого Донбасу та Українського щита), їх розвиток відбувався однотипово, але у різних місцях з різним ступенем контрастності.

При цьому періоди посилення тектонічної активності території вугільного басейну у вузлах перетину різнонаправлених глибинних розломів піддавалася неодноразовій активізації магматичних процесів. За даними А. Б. Гуревача [5] прояви магматермальної дії на вугільні пласти відмічені на 115 з 620 вугільних басейнів та родовищ світу.

Вивчаючи якість вугілля для різноманітного його використання в промисловості, багато дослідників відмічали суттєві зміни деяких фізико-хімічних та енергетичних показників вугілля в контактних зонах магматичних комплексів. Вугілля, що підпало в природних умовах під високотемпературні зміни, характеризується зміною ступеня відбивної здатності вітриніту, зниженими показниками теплоти згорання, збільшеними показниками зольності та карбонатності. У цьому переліку змін вихідних показників вугільної речовини видно, яку глибоку трансформацію набувають вугільні пласти за умов магматермальної дії. За проникнення інтрузій відмічається спікання вугілля до середньотемпе-

ратурного коксу, а в деяких місцях навіть заміщення вугільних пластів інтрузивним дайковим комплексом [5, 12 – 15].

Внаслідок зміни гіпсометричних рівнів вугільних товщ, у постформаційний період, відбуваються зміна складу і перерозподіл зон газонасичення масиву. При активізації тектонічних рухів у вуглепородних масивах створювалися нові структури для природної дегазації, акумуляції та збереження газу. Це частково пояснює чому газу, серед яких і метан, у вугільній товщі поширені нерівномірно. Одним з головних факторів нерівномірного поширення газу у вуглепородному масиві є характер розповсюдження сучасних геологічних структур, в яких розташовані вугленосні поклади. Газоносність вугільних пластів контролюється геологічними структурами, де простежується чіткий взаємозв'язок: газоносність вугільних пластів визначається наявністю дрібних структур різного характеру [1, 12, 14] в яких газові поклади пов'язані з вугільними пластами та вміщуючими їх породами. Одноставної думки про походження газу у вугільних масивах не існує, але більшість вчених розглядає його як біогенне утворення, що є одночасно утвореним з вугільними покладами чи продуктованими ними при подальшому їх перетворенні [9, 16, 17]. Друга гіпотеза вказує на присутність у вугіллі газів, окрім біогенного, також абіогенного походження, пов'язаних із глибинними розломами та флюїодинамічними осередками [2, 14, 15].

Вивчення генетичної належності газів відпрацьованого простору до цього часу не проводилося. Оскільки відпрацьований простір є незначною частиною вуглепородного масиву, походження газів відпрацьованого простору, в наших дослідженнях, розглядаємо як єдину систему газонасиченості, газоємності та міграції газів всього вуглепородного масиву. Для цього розглядаємо походження газової суміші та генезис окремих її компонентів з метою встановлення їх впливу на газоносність відпрацьованого простору.

На думку М. М. Страхова [17], метан, що перебуває у сучасній вугленосній товщі як за кількісними показниками так і за локалізацією в структурах – є залишковим який утворився в період метаморфізму вугілля. М. Л. Лівенштейн [10], вважає, метан у вуглепородному масиві пов'язаний із метаморфізмом вугілля,

який продовжується на глибині і до нині. Тому, на його думку, сучасне поширення газу у відкритих вугільних басейнах слід розглядати як динамічну рівновагу: глибинного, регіонального, метаморфогенного газоутворення, що постійно поповнює зменшення метану, що відбувається за рахунок постійної дегазації.

Особливо велика частка вільного газу поблизу розривних порушень, а також у відновленому вугіллі які мають велику газовіддачу [4]. Л. В. Гніпп зазначає, що в газах кам'яновугільних басейнів може знаходитися метан генетично не пов'язаний із вугільними масивами.

На думку О. І. Кравцова та О. І. Фрідмана вуглеводні, в основній масі, могли приникати в осадову товщу із кристалічного фундаменту, а метан і його гомологи могли утворюватися в результаті міграції водню й окису чи двоокису вуглецю із під корових глибин [3, 8] або ті що вміщуються в магматичному розплаві [18]. Отже, за генетичним походженням метан вуглепородних масивів варто розглядати як суміш газів генерованих в процесі вуглефікації похідної речовини, метаморфізму та газів (метану) іншого походження.

Важкі вуглеводневі гази у вугіллі різного ступеню метаморфізму відомі у багатьох вугільних басейнах: у Донецькому – до 24 %, у Кузнецькому – до 25 %, у Печорському – 20 %, у Норільському – 70 %, у Ткібулі-Шаорському – 7 – 8 %, у Львівсько-Волинському – 2 – 5 %, у Пенсільванському та Оберкірхені – до 3 %, у басейнах Японії до 1,5 %, в Угорщині, Шотландії та Англії – присутність [7, 8].

Появу важких вуглеводнів дослідники [8, 9] пов'язували із наявністю нафтоматеринських речовин у самому вугіллі чи поблизу в породах або впливом на вугіллі та породи високих температур в наслідок впливу інтрузивних тіл. З міграцією з глибини важких вуглеводнів у газах пов'язували з газами бітумопроявів продуктивних товщ Донбасу [6]. За результатами досліджень Х. Ф. Джамалова [6] вважає, що концентрація важких вуглеводнів не залежить від ступеню метаморфізму вугільного пласта. Вміст даних газів у вугленосній товщі Донбасу має вторинний накладений характер, а важкі вуглеводні можуть розглядатися як індикатори сучасної міграції метану та його гомологів. Про міг-

рацію газу із найбільш занурених газогенеруючих горизонтів та міграцію газів вверх по розрізу та по падінню пласта вказує М. Я. Малихін. Найбільші зони скупчення важких вуглеводнів пов'язують із водами вміщуючих вугілля порід та із зонами розвитку тріщинуватості. Отже на думку більшості дослідників [11] важкі вуглеводні вуглепородних масивів генетично не пов'язані із вугіллям чи нафтопроявами в них, а пов'язані з міграцією вуглеводнів (як рідких так і газоподібних) з глибини.

Азот є одним із найбільш поширених газів у вугленосних товщах, більшість дослідників його присутність пов'язують із повітряним походженням. Механізм його накопичення представляють як результат накопичення на глибині значної кількості атмосферних газів у вугіллі та породах, завдячуючи привносу водами, забороненого при осадконакопиченні [3].

О. І. Кравцов та А. П. Виноградов вважають можливим утворення азоту в глибинах Землі чи результатом вивержених порід і вулканічних газів [8].

Походження вуглекислого газу має чи не найбільше поглядів: - його походження пов'язане із міграцією газів на глибину (що пояснює зниження його вмісту з глибиною); - збереження із перших стадій вуглеутворення; - з поствулканічною діяльністю у зонах впливу альпійської складчастості; - до сучасних процесів біохімічного чи хімічного розкладання; - в результаті глибинного підтоку в районі порушених зон. Отже двоокис вуглецю в газах кам'яновугільних родовищ могла утворитися в процесі вуглефікації органічної речовини, в результаті глибокого окислення вугілля, а також проникнути в товщу із джерел розташованих нижче вугільних пластів, в тому числі й за рахунок глибинного походження [4, 9].

Водень – один із найбільш поширених газів але переважно в незначних кількостях, але його кількість збільшується в тектонічно порушених зонах. На думку більшості дослідників водень у вугільних пластах може бути генетично з ним пов'язаний, а також водень, що не має генетичних зв'язків із вугленосними товщами (глибинного походження) [7, 9, 13].

Сірководень може утворитися при формуванні вугільного масиву різними шляхами: біогенним (біохімічним) та абіогенним

(окислення руд) і в значних кількостях. Але він практично дуже рідко зберігається, тому його наявність в газовій суміші вказує на сучасні активні процеси [7].

До рідкісних газів відносять гелій, аргон, криптон, ксенон і всі вони, крім гелію, у сумішах вугільних газів мають, як правило, атмосферне походження. Походження гелію, генетично, пов'язують із радіоактивними елементами і, вважають, глибинним газом. Його серед інших газів вирізняє висока проникність, низька адсорбційна властивість та особливості геологічної будови регіону. При великих значеннях аргону у вугільних газах не виключено його міграція по тектонічних порушеннях із глибин, що підтверджує присутність його в газах фумарол і вулканів. Рідкісні гази вугленосних товщ за походженням можуть бути: радіоактивного, глибинного та атмосферного походження [13, 14].

Ненасичені вуглеводні (ацетилен, етилен, пропілен) є одними із складових газів вуглепородних масивів. Етилен скрізь, а пропілен майже скрізь супутній ацетилену. В той же час контури поширення етилену та пропілену часто на 50-70 м перевищують контури поширення ацетилену.

Зважаючи на те, що вуглеводні метанового ряду, крім частини метану з проблематичною генетикою, синтезовані у більш жорстких термобаричних умовах ніж сучасні умови їх поширення [12], можна стверджувати, газонасичення вугільного масиву відбулося за рахунок конвективної дифузії газової суміші тріщинами розривних порушень, тобто за рахунок переносу речовини рухомим середовищем. Рух потоку речовини відбувався у відповідності до другого закону термодинаміки, згідно якому стан речовини змінюється в напрямку досягнення рівноваги температури і тиску – з глибоких горизонтів до при поверхневих, від високих температур і тиску – до більш низьких.

Отже, умови насичення вуглепородного масиву Донбасу нижчими насиченими ( $C_2 - C_3$ ) та ненасиченими вуглеводнями визначаються величиною періодів збільшення чи зменшення пропускної здатності тектонічних розривних порушень з часом надходження до них вуглеводнів.

При проведенні гірничих робіт порушується рівновага системи газ – вміщуюче середовище, створене попередніми геологі-

чними процесами. У відпрацьованому просторі діючих шахт створюється новий газовий колектор, який має більш пористу структуру та більший розмір, ніж потужність вугільного пласта.

На досліджуваних шахтах було встановлено, що породи забутовки (частково обваленої покрівлі) змінюються в одному й тому ж пласті незалежно від гіпсометричного рівня пласта. Породи забутовки, у більшості відібраних проб, представлені піщано-глинистим чи алевритовим матеріалом, зрідка сірими або вуглистими аргілітами 80 – 90 % відібраної проби та 10 – 20 % - вугільними уламками, як виняток, у окремих пробах вугільні уламки становили понад 50 %.

За час досліджень встановлено, що у одному вугільному пласті незалежно від гіпсометричних рівнів, якісні показники залишкової газової складової не мають суттєвих відмінностей. В той же час у відпрацьованому просторі, як і у вугільних пластах, зміни якісних та кількісних показників корелюються з тектонічно порушеними зонами вуглепородного масиву.

Слід зазначити, що проби відібрані з відпрацьованого простору мали термін новоутвореного колектора протягом 14-30 днів. Вміст гелію та водню вказує на активне сучасне газонаповнююче та газозберігаюче середовище відпрацьованого простору. Можна припустити, що основна кількість газів у породах і вугіллі забутованого простору надійшла з часу його відпрацювання не тільки з оточуючих ціликів і має донором не тільки вугілля, але і більш глибинні джерела. Це пояснюється присутністю гелію, водню, а також, можливо, деяких ненасичених та важких вуглеводнів (табл. 1).

Порівнюючи результати досліджень залишкової газової складової у вуглепородних масивах [1] та у відпрацьованому просторі діючих шахт простежується такий зв'язок: при наближенні до зон тектонічних порушень збільшуються якісні та кількісні показники газової суміші.



Таблиця 1

Результати дослідження залишкової газової складової відпрацьованого простору діючих шахт Красноармійського та Донецько-Макіївського вуглепромислових районів

Газ	В об. %
He	$9,6 \cdot 10^{-4} - 1,4 \cdot 10^{-3}$
CO <sub>2</sub>	0,36 – 8,1 об. %
O <sub>2</sub>	8,7 – 15,3
H <sub>2</sub>	$8,3 \cdot 10^{-3} - 1,4 \cdot 10^{-1}$
CH <sub>4</sub>	0,169 – 15,44
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	0,003 – 0,188
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	–
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	$8,1 \cdot 10^{-4} - 8,0 \cdot 10^{-2}$
C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	–
iC <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	$7,2 \cdot 10^{-5} - 2,7 \cdot 10^{-3}$
nC <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	$5,0 \cdot 10^{-5} - 1,2 \cdot 10^{-2}$
neoC <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	–
iC <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	$7,5 \cdot 10^{-4} - 2,9 \cdot 10^{-3}$
nC <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	$8,4 \cdot 10^{-5} - 4,0 \cdot 10^{-3}$
C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	$7,1 \cdot 10^{-5} - 2,9 \cdot 10^{-3}$

**Висновок.** Попередніми [12 – 14] та нашими дослідженнями встановлено, що у прирозломних зонах сорбованими є більш важкі (C<sub>3</sub> – C<sub>5</sub>) та ненасичені вуглеводні, але які не складають основу газової вуглеводневої суміші вугільних пластів та вміщуючих порід. Отже можемо припустити, що під час всіх фаз складчастості Донбасу, перерозподілу та міграції газів адвентивні газу не відчували значного тиску з боку корінних газів, які перебували у порах вуглепородного масиву. Таким чином, основна маса сучасних газових вуглеводнів верхніх горизонтів вугільного масиву існує за рахунок процесу міграції від місць їх генезису (синтезу) – до місць їх сучасного поширення.

Всі складові газу вуглепородних масивів контролюються мозаїкою фізичних параметрів його різних частин, як у непорушеному так і у відпрацьованому масиві.

Розглянута залишкова якісна складова природних газів відпрацьованого простору діючих шахт базується на характері зміни складової газу враховуючи його походження може надати суттєву допомогу при подальших дослідженнях геології та геохімії газів відпрацьованого простору діючих шахт та, за аналогією, закритих шахт.

На сучасне поширення газу у вуглепородному масиві значний вплив має тектоніка, що проявлялась протягом чотирьох етапів від пермі до неогену. Тектонічні рухи змінювали гіпсометричні рівні структур вугільних товщ. При активізації тектонічних рухів у вуглепородних масивах створювалися нові структури і пастки для газу, що пояснює його нерівномірне поширення в локальних формах.

Відпрацьований простір діючих шахт є новим техногенним колектором, придатним для накопичення газоподібних вуглеводнів. На активні процеси міграції газів у відпрацьованому просторі вказують складові газової суміші, представлені гелієм, воднем та вуглеводневими газами.

Якісна газова складова у відпрацьованому просторі корелюється із порушеннями вуглепородного масиву: у зонах порушень вуглепородного масиву, крім збільшення кількості газу, збільшуються і якісні характеристики по відношенню до непорушених зон.

За генетичною належністю газ відпрацьованого простору діючих шахт можна віднести до біогенних (залишкових газів періоду формування вугільних пластів, що потрапляють у забутований простір із ціликів), газ глибинних горизонтів (газів, які мігрують тектонічно порушеними зонами із глибинних горизонтів чи абіогенного походження) та атмосферного газу (який потрапив у вироблений простір в період відпрацювання вугільного пласта).

Висновки наших досліджень підтверджуються дослідженнями ізотопного складу вугільних газів Донбасу за результатами встановленої генетичної належності вугільних газів з відкладів карбону території шахти ім. О. Ф. Засядька [19].

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Вергельська Н. В., Правоторова О. В., Назарова І. О. Про особливості газової складової вугільних пластів в тектонічно активних зонах (на прикладі ділянки Північно-Родинська-2 ДП ВК «Краснолиманська») // *Наук. пр. УкрНДМІ НАН України / За заг. ред. А. В. Анциферова.* — Донецьк, УкрНДМІ НАН України, 2011. — Вип. 9 ч. 2. — С. 440—450.
2. Вергельська Н. В. Газоносність відпрацьованого простору діючих шахт Донбасу // *Тектоніка і стратиграфія*, 2012. — Вип. 39. — С. 30—33.
3. Газоносность угольных бассейнов и месторождений СССР / Гл. ред. А. И. Кравцов. — М., Недра, 1979. — Т. 1: Угольные бассейны и месторождения европейской части СССР. — 628 с.
4. Гнипп Л. В. Роль свободного газа в угленосной толще на больших глубинах Донецкого бассейна // *Изв. ВУЗов серия геол. и разв.*, 1972. — № 3 — С. 96—101.
5. Гуревич А. Б., Гаврилова О. И., Шишков С. Б. Методика прогнозирования качества углей в бассейнах с интенсивным магматизмом // *Сов. геология.* — 1987. — № 7. — С. 3—11.
6. Джамалова Х. Ф. Битумопроявления в угленосных отложениях Донецкого бассейна // *Труды Укр НИИ пр. газов.* — Вып. 4. — 1972. — С. 295—303.
7. Кравцов А. И. Основные геологические закономерности распространения природных газов на территории СССР // *Изв. ВУЗов, серия геол. и разв.*, 1962. — № 1. — С. 91—98.
8. Кравцов А. И., Соколов В. А., Элинсон М. М. О составе и происхождении газов угольных месторождений // *Труды МГРИ им. Орджоникидзе*, Т. XXVIII, Госнаучиздат, 1955. — С. 45—53.
9. Лидин Г. Д. Газообильность каменноугольных шахт СССР. Изд-во АН СССР, Т. 1 — 1949. — 350 с.
10. Левенштейн М. Л. Основные проблемы регионального метаморфизма углей. Геология угольных м-ний / Т. 1. — Изд-во : Наука, 1969. — С. 113—123.

11. Малыхин М. Я. Газоносность и гидрогеологическая характеристика отложений нижнего карбона Красноармейская-Западная участок № 2 // Труды УкрНИИ пр. газов, Вып. 4. — 1972. — С. 273—280.
12. Майданович И. А., Радзивилл А. Я. Особенности тектоники угольных бассейнов Украины — Киев : Наук. думка, 1984. — 120 с.
13. Опыт исследования ацетиленосности угольных пластов шахт Донецко-Макеевского района / А. Н. Сукачев, А. Я. Радзивилл, В. В. Касьянов, А. И. Сусло — Киев, 1992. — 55 с. (Препринт АН Украины, Ин-т геологических наук).
14. Радзівілл А. Я. До прогнозу зміни метаносності вугленосних відкладів Складчастого Донбасу з глибиною / Наук. праці Інституту фундаментальних досліджень. Київ : Знання. — 2001. — С. 105—110.
15. Радзівілл А. Я., Іванова А. В., Зайцева Л. Б. Геологія вуглегазових басейнів (провінцій) України. — Київ. — ЛОГОС, 2007. — 179 с.
16. Тиркель М. Г., Анциферов В. А., Глухов А. А. Изучение газоносности угленосной толщи. — Донецк: ВЕБЕР, 2008. — 208 с.
17. Страхов Н. М. К геологии метана в угленосной толще Донецкого бассейна // БМОМП, отд. Геол. Т. XVIII (2) — 1940 — С. 59—70.
18. Фридман А. И. Природные газы рудных месторождений. М. : Недра, 1970. — 192 с.
19. Ємець О. В., Лугова І. П., Канін В. О. та ін. Генезис вугільних газів з відкладів карбону території шахти ім. А. Ф. Засядька (Донбас) // Доповіді НАНУ, 2008. — № 4. — С. 120—124.