УДК 553.94:504.062.4(477)
*https://doi.org/10.31474/2073-9575-2021-1(25)-2(26)-94-103*

**Н.В. Вергельська,**
**І.М. Скопиченко**

# ОСОБЛИВОСТІ СУЧАСНОЇ ГАЗОВОЇ МІГРАЦІЇ У ВУГЛЕПОРОДНИХ МАСИВАХ ДОНЕЦЬКОГО БАСЕЙНУ

***Мета.*** *Дослідити зміну показників якісного та кількісного газового складу у вуглепородних масивах при зміні стану масиву, в тому числі й при газодинамічних ситуаціях.*

***Методика.*** *В роботі використані традиційні структурно-геологічні методи, методи узагальнення та розроблені й запатентовані авторами методики про визначення газового стану вуглепородних масивів на основі газової хроматографії.*

***Результати.*** *Досліджено зміну залишкової газової складової у вуглепородних масивах. Встановлено етапи зміни якісного та кількісного газового складу у вуглепородних масивах при газодинамічних явищах. Визначені шляхи міграції газу у вуглепородних масивах та техногенних колекторах. Введено поняття темпового насичення газом вуглепородного масиву, яке контролюється дією розривної тектоніки.*

***Наукова новизна.*** *Вперше визначені умови формування сучасних газонасичених зон у вуглепородних масивах за рахунок газової міграції та темпового насичення газом. Встановлено вплив розривних тектонічних порушень на міграцію та акумуляцію газів у вуглепородних масивах.*

***Практичне значення.*** *Встановлено вплив міграції газів на формування газонасичених зон у вуглепородних масивах та техногенних колекторах відпрацьованого простору діючих шахт, що важливо для забезпечення безпечної роботи вуглевидобувних підприємств та проведення дегазації вуглепородних масивів.*

***Ключові слова:*** *газоносність, міграція газу, тектонічні порушення, вуглепородний масив, техногенні колектори, Донецький басейн.*

**Вступ.**

Сучасні особливості поширення газу у вуглепородних масивах Донецького басейну формувалися під впливом тектонічних процесів які проявлялися протягом етапів тектогенезу від пермі до неогену. Тектонічні процеси змінювали гіпсометричні рівні структур вугільних товщ. Сучасна газоносність вугленосних товщ значною мірою сформувалася шляхом просторового перерозподілу вуглеметаморфогенних газів, у тому числі і мігруючих із глибших горизонтів і глибинних джерел. Генезис, міграція, форми знаходження вуглеводнів у вуглепородних масивах аналогічні процесам характерним для природних газів у осадових формаціях. В той же час існують певні особливості формування й еволюції вуглегазоносної (вугільно-вуглеводної) формації, які обумовлюють специфіку формування природної газоносності вугленосних товщ. Перервно-неперервний процес міграції газів до поверхні з глибших горизонтів супроводжується тектонічними (вулкана-тектонічними) процесами (рухами) і призводить до вертикальної газової зональності у вугленосних товщах, яка змінюється при кожній наступній активізації. На сьогодні, активну участь у міграції газів до поверхні приймають і техногенні колектори вуглепородних масивів, які контролюються структурно-тектонічними умовами району вугільного басейну.

Один із представників нетрадиційних ресурсів, якому приділяється значна увагу у світі, є метан вугільних родовищ. Значною кількістю досліджень і робіт проведених у всьому світі за останнє десятиліття, зокрема авторами, нашими співвітчизниками, зроблений великий внесок у розвиток цього напрямку – А. Я. Радзивіллом, В. В. Лукіновим, В.А. Каніним, Л.І. Пимоненко, А. Е. Лукіним, Х. Ф. Джамаловою, А. М. Брижаньовим, Г. Д. Лідіним, І. М. Наумком і багатьма іншими.

Незважаючи на значні роботи з питань походження та міграцію газів у вуглепородних масивах на сьогодні не має єдиної точки зору з цієї проблеми.

**Аналіз останніх досліджень**.

Серед вугільних басейнів України, стосовно вугільно-вуглеводневих формацій, Донецький вугільний басейн найбільш вивчений. На сьогодні до глибин 2 км

зібрана величезна кількість даних, які характеризують тектоніку, магматичну діяльність, фізико-механічні властивості порід, умови осадконакопичення Донбасу, на основі яких формувалися погляди про геологічну будову регіону. В умовах недоліку прямих геологічних даних про великі глибини наявні геологічні і геофізичні матеріали не можуть привести до однозначних висновків і трактуються виходячи з теоретичних поглядів авторів. Щоб пояснити отримані результати авторами запропоновано велику кількість гіпотез, якими намагаються пояснити утворення і розвиток тектонічних структур, посилення або послаблення процесів тектогенезу, вулканізм, особливості осадконакопичения, дислокованості та газоносності Донецького басейну.

Найбільше популярна ідея Д. Каріг і Маккензі [9, 12] формування рифтових зон у процесі підняття мантійних діапірів – астенолітів. Відповідно до неї, не вся астеносфера, а лише окремі астеноліти проникають в основу континентальної кори, утворюючи ділянки аномальної мантії (корово-мантійну суміш). В подальшому, формування структури басейну відбувається за рахунок періодичного надходження порцій глибинної речовини утвореним каналом.

У монографіях Бондаря А. Д. [2] та А. Д. Бондаря, Ю. Я. Томчука [1] при визначенні критеріїв оцінки достовірності походження горючих корисних копалин обрано теорію конвективно-дифузійного руху газоподібних вуглеводнів у неоднорідних пористих середовищах, у відповідності з якою повинна спостерігатися дифузійна диференціація ізотопів вуглецю легких вуглеводнів. Газоподібні вуглеводні, які рухаються із глибоких надр, не тільки накопичуються в пастках, утворюючи газові чи газоконденсатні поклади, але й впливають на стан захороненої біогенної органічної речовини. Завдяки механохімічним процесам може відбуватися їх взаємодія з органічною речовиною. Також вони слугують кормом для метанотрофних бактерій, що приводить до залучення в цей процес як біогенного, так і абіогенного вуглецю. Відповідно не тільки рідкі вуглеводні, але і вугілля можуть включати в себе як абіогенний, так і біогенний вуглець. На думку авторів, є можливість поєднати два протилежні уявлення про походження горючих копалин – біогенне та абіогенне, причому пріоритетна роль належить все-таки абіогенним факторам. В осадовій товщі вплив дифузії чітко виявляється переважно на глибинах до 3000 м, а в інтрузії, що охолоджується, – після закінчення ізотопного обміну.

Н.Є. Волошин [6] вважає причиною викидів порід, вугілля і газу сучасні тектонічні рухи. За його уявленнями конвекційні потоки мантійної речовини, впливають на горизонтальні рухи, які зумовлюють постдіагенетичні зміни масиву, і змінюють при цьому властивості і структуру вугілля і порід. У пісковиках утворюються зони «локального метаморфізму порід», які є викидонебезпечними. Проте конвекційні течії відбуваються на дуже великих глибинах і вплив їх на формування локальних викидонебезпечних зон неможливий, оскільки це занадто різномасштабні процеси.

За даними А. М. Брижанєва [3] на газоносність впливають параметри і час утворення порушень: постседиментаційні скиди є проникними, конседиментаційні непроникними; насуви характеризуються мінливою проникністю, яка залежить від літології вміщуючих порід.

У роботі В. Є. Забігайло і О. З. Широкова [11] за результатами аналізу газоносності шахт Західного Донбасу (що відрізняється наявністю тільки скидів): встановлено, що закономірна зміна метаноносності, яка зумовлена регіональними чинниками, ускладнюється впливом тектонічних порушень, літології та колекторських властивостей вуглевміщуючих порід і гідрогеологічних умов. Визначено, що крупні діагональні скиди, які характеризуються багатофазовим розвитком, сприяли руйнуванню газових покладів; повздовжні – накопиченню вугільних газів. У роботі О. Ю. Лукіна [13] вказано, що породи Дніпровсько-Донецької западини та Донбасу були занурені приблизно на однакову глибину, але ступінь їх катагенетичних перетворень істотно розрізняється. В. В. Лукіновим [14] для південно-західної частини Донбасу встановлено вплив палеотектоніки на ступінь катагенетичних перетворень, а відповідно, і на газоносність.

На думку Ю. М. Нагорного і В М. Нагорного [16] регіональні викидонебезпечні зони співпадають з глибинними розломами кристалічного фундаменту і їх можна пояснити активністю при формуванні басейну. На нашу думку, така активність проявлялася багаторазово і в постформаційний період, включаючи сучасний період.

K. Wangand, S. Xue у своїй роботі [26] вказують на застосування декількох методик, в залежності від геологічних та гірничо-геологічних чинників, для прогнозування газодинамічних явищ під час роботи вуглевидобувних підприємств.

Для освоєння ресурсів метану та запобігання газодинамічних явищ Li X., Nie B. and Ren T. [22] дослідили зміну проникності вуглепородного масиву опираючись на дані досліджень деформації вугільного пласта, глибину залягання та постформаційних змін.

A. Saghafi [23] вважає, що використання газової складової вуглепородних масивів доцільне для вирішення різних питань, але для кожного з напрямів варто застосовувати окремі газові показники. Для запобігання використанню не коректних показників доцільно розглядати декілька методів, а також розробити методику дослідження вугільних масивів із низькими вмістом газу.

**Мета дослідження.**

Дослідження змін показників якісного та кількісного газового складу у вуглепородному масиві при зміні стану масиву, в тому числі й при газодинамічних ситуаціях.

Завдання дослідження:

- визначити залишкову газову складову у вуглепородному масиві діючих шахт та їх відпрацьованих ділянках;
- визначити зміну у суміші газової складової в період відновлення після газодинамічних явищ;
- визначити ділянки вуглепородних масивів для яких характерна міграція.

**Матеріали і методи дослідження.**

В основу досліджень покладено роботи із вивчення газоносності вуглепородних масивів, які були проведені протягом 2007 – 2016 рр. у Червоноармійському, Донецько - Макіївському вуглепромислових районах Донецького басейну (рис. 1) та протягом 2019 – 2021 рр. у Західному Донбасі, вугільних родовищах Гірського Криму ( понад 1200 газових проб). Газоносність вуглепородних масивів визначалися на підставі патентів № 79554 від 25.04.2013 [18] і № 99540 від 10.06.2015 [19]. Лабораторні дослідження проводилися в ДП «Укрнаукагеоцентр» та Інституті геології НАН України (газова хроматографія), Інституті геохімії, мінералогії та рудоутворення НАН України (ізотопні дослідження газу). Проведено узагальнення матеріалів геолого-розвідувальних робіт та маркшейдерсько-геологічних служб шахт.

Автори статті вдячні геологам та маркшейдерам вуглевидобувних підприємств за співпрацю, О. В. Правоторовій, І. О. Назаровій, О. Шевченку, Д. П. Гуні та іншим.

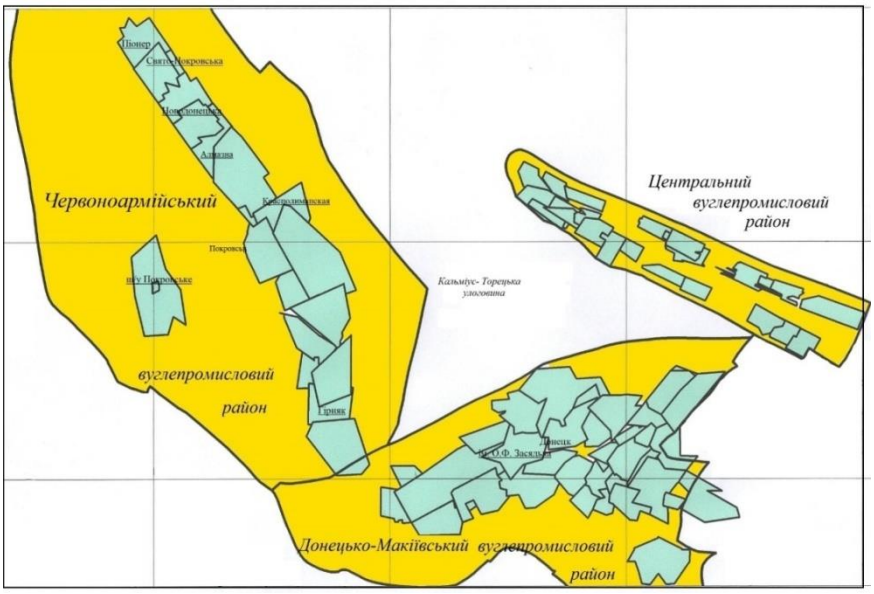


**Рис. 1.** Вуглепромислові райони дослідження газоносності вуглепородних масивів та відпрацьованого простору діючих шахт

**Результати досліджень.**

Аналіз матеріалів з історії геологічного розвитку Донецького вугільного басейну свідчить, що формування складчастих та розривних форм масиву сталося не в якусь одну епоху, а відбувалося протягом всієї геологічної історії розвитку регіону. Формування різноспрямованих зон глибинних розломів відбувалося одночасно і багаторазово, при цьому тектонічна активізації, при збереженні загального плану глибинних тектонічних порушень і контролюючих ними складчастих структур, проходила на суміжних ділянках із різним ступенем активності.

У періоди посилення тектонічної активності на території Донецького басейну, тектонічною будовою, літолого-фаціальним складом вміщуючих порід та умовами циркуляції підземних вод [5, 7, 8, 17, 20, 14].

Дослідженнями газової складової вугільних пластів південно-західної частини Донбасу (рис. 1) встановлено, що закономірне поширення газоподібних вуглеводнів визначається розривними і геологічними порушеннями, що підтверджує не тільки дифузивне газонасичення масиву, а й темпове, тобто газонасичення масиву крізь розривні порушення при тектонічних (тектоно-магматичних) перебудовах. При цьому слід у вузлах перетину різноспрямованих глибинних розломів, відбувалася неодноразова активізація тектоно-магматичних процесів. Історико-геологічне формування ділянок вугільних масивів із різними сорбційними властивостями порід і вугілля, різними показниками газоємності та характеру флюїдопровідності, тісно пов’язані з тектоно-магматичними та постмагматичними процесами як в регіоні, так і світі в цілому [15, 25].

Первинна газоносність кам'яновугільних покладів басейну, перш за все, обумовлена вугленосністю району і ступенем метаморфізму вугілля. Сучасне поширення газу у басейні пов'язано з особливостями геологічного розвитку, глибиною залягання вугленосних відкладів, зазначити, що геологічні розривні порушення не на всьому просторі були «транспортними артеріями» газоподібних вуглеводнів: на більшій частині свого простягання вугілля і породи у розломних зонах настільки перем’яті, що в них повністю відсутня безперервність тріщин та пор, і таким чином майже повністю відсутня газопровідність. Головна частина геологічних розривних порушень у наш час є перешкодою для газообміну між геоструктурними блоками масиву та визначає відносну якісну стабільність газової складової блоків. Це підтверджено газоаналітичними роботами, виконаними в

очисному забої, вентиляційному і конвеєрному штреку шістнадцятого східної лави пласта $m_3$ та похилій лаві $l_4$ шахти ім. О. Ф. Засядько, на 1-й західній лаві пласта $m_3$ шахти ім. К. І. Поченкова, 3-й північної лаві пласта $m_3$ шахти «Чайкіно», східній лаві пласта $m_3$ шахти В.М. Бажанова, на 2-й і 3-й західних лавах пласта $l_1$ ДП ВК «Краснолиманська», у пласті $m_4^2$ шахти «Піонер», закритій штольні Бешуйського родовища Криму на та інші.

Встановлено, що якість газової складової вугільних пластів змінюється від зон розривних порушень до центральної частини блоків. В прирозломній частині блоків у газовій складовій присутні вуглеводні з вуглецевим числом від $C_1$ до $C_5$, а також $C_{пн2п}$ і $C_{пн2п-2}$. При віддаленні від порушеної зони на відстань від 150 до 300 м у вугільних газах відсутні $C_{2п-2}$, а потім $C_{пн2п}$, в той же час, за нашими дослідженнями, поступово зменшується вміст $C_5$, $C_4$, і $C_3$, а за даними О. М. Сукачова [17] – вони відсутні. Центральна частина блоків насичена в основному метаном та етаном, зі значною домішкою азоту і окремих випадках, двоокису вуглецю, які витіснялися в ці місця надходженням вуглеводнів від зон розривних порушень. Вказана диференціація складугазової складової в межах блоків узгоджується і порядком генерації нижчих вуглеводнів у контактній зоні палеовулканічного тіла та не суперечить постмагматичним процесами у вуглепородних масивах Донбасу. Спочатку газова суміш визначалася фізичними параметрами різних ділянок магматичного тіла, що вкорінювалося у вуглепородний масив, такими процесами, як температура, час прогріву, тиск та каталітична дія поверхні нагріву пласта. Відчувши температурний вплив на початковому етапі деструкції вугільних пластів умови для синтезу метильних (CH) та етиленових (= CH) груп не було з тієї причині, що наявність у зольній частині вугільного пласта різних сполук заліза (в окремих випадках до 30% і більше), діючих як каталізатори, не давали можливості при високих температурах призупинити процес розпаду метану на проміжних стадіях, довівши розпад до утворення вільного вуглецю і водню. Хід такого процесу підтверджується присутністю піролітичного вуглецю у численних пробах газу, відібраних з вугілля суміжного з дайковим комплексом різних вугільних басейнів світу [7, 17]. Не суперечить таким процесам і присутність у вугільних пластах Донбасу прожилків кальциту від 1 мм на більшості шахт до 10 – 15 см в пласті $m_4^2$ ДП ВК «Краснолиманська».

У процесі досліджень складу залишкової газової складової були встановлені закономірності зміни газової суміші (табл. 1) у вугільних пластах ($m_3$, $l_1$, $l_4$ на шахті ім. О. Ф. Засядька, $m_4^0$, $m_4^2$, $l_2^1$, $l_3$, $k_5$ на шахтах ДП Гірник, ДП ВК «Краснолиманська», ДТЕК «Алмазна», ДТЕК «Піонер» і ДП «Свято-Покровська»): при наближенні до зони порушень (200 - 250 м) змінюються якісні і кількісні показники газової суміші. Якісні показники газового складу тісно пов'язані з тектонічними порушеннями у вугленосних товщах. При наближенні до тектонічно порушених зон значну роль відіграють вуглеводневі гази, в тому числі і важкі вуглеводні за присутності гелію, водню, етану й азоту.

Таблиця 1. Залишкова газоносність вугільних пластів ДП ВК «Краснолиманська» Красноармійській вуглепромисловий район

| **Газ** | **в об.%** |
|---|---|
| **He** | $9{,}6\cdot10^{-4} – 1{,}4\cdot10^{-3}$ |
| **$CO_2$** | 0,36 – 8,1 об. % |
| **$O_2$** | 8,7 – 15,3 |
| **$H_2$** | $8{,}3\cdot10^{-3} – 1{,}4\cdot10^{-1}$ |
| **$CH_4$** | 0,169 – 15,44 |
| **$C_2H_6$** | 0,003 – 0,188 |
| **$C_2H_4$** | – |
| **$C_3H_8$** | $8{,}1\cdot10^{-4} – 8{,}0\cdot10^{-2}$ |
| **$C_3H_6$** | сліди |
| **$iC_4H_{10}$** | $7{,}2\cdot10^{-5} – 2{,}7\cdot10^{-3}$ |
| **$nC_4H_{10}$** | $5{,}0\cdot10^{-5} – 1{,}2\cdot10^{-2}$ |
| **$neoC_5H_{12}$** | сліди |
| **$iC_5H_{12}$** | $7{,}5\cdot10^{-4} – 2{,}9\cdot10^{-3}$ |
| **$nC_5H_{12}$** | $8{,}4\cdot10^{-5} – 4{,}0\cdot10^{-3}$ |
| **$C_6H_{14}$** | $7{,}1\cdot10^{-5} – 2{,}9\cdot10^{-3}$ |

Таким чином, можемо розглядати тектонічний критерій як один із сучасних головних для визначення скупчень газів у вуглепородному масиві, а газовий склад підкреслює міграцію газів як з більш

глибоких горизонтів, так і глибинних у верхні горизонти літосфери.

У результаті досліджень було визначено зміну газоносності у діючих виробках, у відпрацьованому просторі діючих шахт, в штольнях з завершеною роботою понад 60 років, а також зміни газового стану відпрацьованого простору після газодинамічних (аварійних) ситуацій. Якісні характеристики газової суміші вугільних родовищ постійно змінюються вздовж розрізу та падіння пласта і особливо чітко вирізняються в тектонічно порушених зонах вуглепородних масивів. Всі складові газової суміші вуглепородних масивів контролюються мозаїкою фізичних параметрів його різних частин як в непорушеному, так у в відпрацьованому масиві.

Сучасний газовий підтік у вуглепородних масивах можна визначати за зміною складу газових сумішей у підготовленому до відпрацювання масиві (пласт $m_3$ на шахті ім. О. Ф. Засядька): протягом місяця, при відборі проб на одній і тій же ділянці відбулася зміна газового складу з пропано-бутанового (при азоті до 20%, метані до 30% газової суміші) на бутано-пропановий (при азоті до 30%, метану до 25% і важких вуглеводнів до 3%) на відносно тектонічно не порушеній ділянці.

У зоні впливу Грачівського та Федорівського скидів (ДП ВК «Краснолиманська») (рис. 2) при дегазації відпрацьованого простору відбулося загоряння у відпрацьованій виробці. У зоні газодинамічної ситуації ДП ВК «Краснолиманська» зафіксована зміна газового стану виробок від небезпечного (критично небезпечного) до можливого газового колектора у відпрацьованому просторі (техногенний колектор):

- на початку: метан до 1%, ацетилен до 0,8%, азот більше 70% газової суміші;
- після проведення робіт по стабілізації масиву (один тиждень): метан до 0,86%, ацетилен – сліди (максимум до 0,2%), азот до 96-98%;
- після проведення робіт по стабілізації (шість тижнів): метан до 20%, етилен, ацетилен – відсутні, азот до 70%.

Таким чином, після проведення робіт по стабілізації масиву, відбулося відновлення газового стану ділянки (майже ідентичне до початку відпрацювання) та визначені ділянки насичені азотом та вуглеводневими газами (рис. 2).

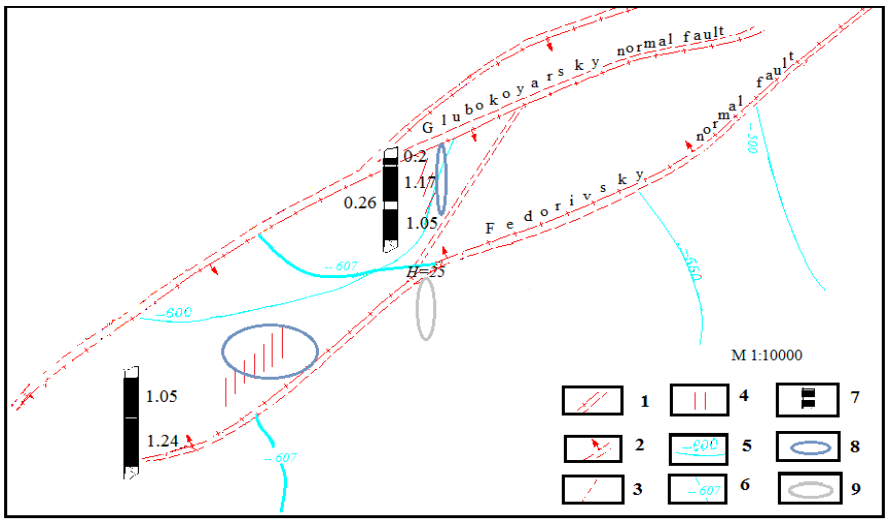


**Рис. 2.** Ділянки газоносності у вугільному пласті $l_3$ I, II та III західних лав ДП ВК «Краснолиманська» (виконано за матеріалами шахтної служби)

Умовні позначення: 1 – розлом, 2 – напрямок падіння, 3 – дрібноамплітудне порушення, 4 – ділянка дрібноамплітудної тектоніки, 5 – глибина потенційної викидонебезпечності, 6 – ізогіпса глибини, 7 – будова вугільного пласта, 8 – зони насичення вуглеводневими газами, 9 – зона насичення азотом.

Усі наведені дані свідчать про сучасну газову міграцію не тільки у непорушені вуглепородні масиви, а й у відпрацьований, технічно ізольований простір (таблиця 2), в

який гази могли мігрувати тільки вертикально, що обумовлено розташуванням виробки між двома порушеннями (рис. 2).

Визначена газова міграція тектонічними порушеннями у даній виробці може бути простеженою у інших, аналогічних за геологічною будовою та газовими показниками вуглепородних масивах.

Зміна газового стану вугільної штольні (консервація близько 60 років з провітрювання виробки прогоном для відпрацювання) було вивчена від входу до висипки, що сталася за рік до дослідження [5, 24]. У газовому складі проб чітко простежувалася закономірність, аналогічна до вугільних масивів Донецького басейну: у місці порушення було визначено максимальну кількість гелію (близько 1,5%) і максимальну кількість якісної складової газової суміші, яка поступово зменшувалася до відсутності гелію при вході в штольню.

Таблиця 2. Результати дослідження залишкової газової складової відпрацьованого простору діючих шахт

| Газ | Красноармійський вуглепромисловий район, в об.% | Донецько-Макіївський вуглепромисловий район, в об.% |
|---|---|---|
| **He** | $2{,}4\cdot10^{-4}$ - $3{,}5\cdot10^{-3}$ | $0{,}4\cdot10^{-4}$ - ,$4\cdot10^{-3}$ |
| **$CO_2$** | 0,29 – 3,1 | 0,5 – 1,28 |
| **$O_2$** | 0,9 – 21,09 | 8,76 – 19,77 |
| **$H_2$** | 0,021 – 0,11 | $1{,}2\cdot10^{-3}$ - $3{,}1\cdot10^{-3}$ |
| **$CH_4$** | 0,599 – 76,6 | 5,2 – 18,21 |
| **$C_2H_6$** | $0{,}3\cdot10^{-2}$ – 0,97 | 0,88 – 5,97 |
| **$C_2H_4$** | - | - |
| **$C_3H_8$** | 0 - $0{,}4\cdot10^{-2}$ | 0,2 – 1,076 |
| **$C_3H_6$** | - | - |
| **$iC_4H_{10}$** | 0 - $0{,}4\cdot10^{-2}$ | $0{,}6\cdot10^{-2}$ - $0{,}58\cdot10^{-1}$ |
| **$nC_4H_{10}$** | 0 - $0{,}6\cdot10^{-2}$ | $0{,}2\cdot10^{-1}$ – $1{,}22\cdot10^{-1}$ |
| **$neoC_5H_{12}$** | - | - |
| **$iC_5H_{12}$** | - | 0 - $0{,}16\cdot10^{-1}$ |
| **$nC_5H_{12}$** | - | $0{,}3\cdot10^{-2}$ - $0{,}11\cdot10^{-1}$ |
| **$C_6H_{14}$ +вищі** | $0{,}3\cdot10^{-2}$ – $0{,}8\cdot10^{-2}$ | $0{,}6\cdot10^{-2}$ - $0{,}11\cdot10^{-1}$ |
| **Азот+ріdкісні** | 21,6 – 89,0 | 77,2 – 78,3 |

Вугленосні родовища і вуглепрояви Криму територіально пов'язані із зонами зчленування тектонічних структур і проявів магматизму.

За результатами визначення газовогоскладу можна припустити, що висипка у штольні відбулася у найбільш активній зоні сучасного газового підтоку з глибинних джерел. Ці зони, швидше за все, пов'язані з успадкованими палеозойськими розривними дислокаціями, активізованими в кіммерійську та альпійську епоху тектоорогенезу і активними до нині.

Встановлені зміни показників залишкової газової складової вуглепородного масиву бешуйської світи пласта Екі-Хат (таблиця 3) та попередні дослідження підтверджують процеси сучасного глибинного підтоку, що характеризується наявністю у якісному компонентному складі газової суміші He (гелію), H (водню), $C_5H_{12}$ (пентану) та $C_6H_{14}$ (гексану), а $CO_2$ (діоксид вуглицю) – переважно, на сучасні процеси окислення в штольні.

Таблиця 3.Залишкова газова складова пласта Екі-Хат

| Газ | в об.% |
|---|---|
| **He** | $2{,}8\cdot10^{-3}$ – $4{,}2\cdot10^{-3}$ |
| **$H_2$** | $6{,}5\cdot10^{-3}$ – $1{,}7\cdot10^{-2}$ |
| **$CH_4$** | $7{,}8\cdot10^{-4}$ – $5{,}5\cdot10^{-2}$ |
| **$C_2H_6$** | $1{,}6\cdot10^{-5}$ – $2{,}9\cdot10^{-3}$ |
| **$C_2H_4$** | $4{,}6\cdot10^{-6}$ – $2{,}5\cdot10^{-6}$ |
| **$C_3H_8$** | $1{,}7\cdot10^{-5}$ – $2{,}7\cdot10^{-3}$ |
| **$C_3H_6$** | $6{,}3\cdot10^{-6}$ – $4{,}3\cdot10^{-5}$ |
| **$iC_4H_{10}$** | $1{,}7\cdot10^{-6}$ – $4{,}4\cdot10^{-5}$ |
| **$nC_4H_{10}$** | $6{,}2\cdot10^{-6}$ – $3{,}4\cdot10^{-4}$ |
| **$neoC_5H_{12}$** | $1{,}1\cdot10^{-6}$ |
| **$iC_5H_{12}$** | $1{,}3\cdot10^{-6}$ – $4{,}0\cdot10^{-5}$ |
| **$nC_5H_{12}$** | $8{,}3\cdot10^{-6}$ – $1{,}4\cdot10^{-4}$ |
| **$C_6H_{14}$** | $1{,}2\cdot10^{-5}$ – $1{,}04\cdot10^{-4}$ |
| **$CO_2$** | $5{,}9\cdot10^{-1}$ – 1,3 |

У зв'язку із особливостями сучасного залягання вуглепородних масивів Криму під значним кутом падіння (до 45°) глибинна міграція проходить одночасно двома шляхами: за падінням вугільних пластів та через тектонічні порушеннями. Інтенсивність глибинної міграції газів залежить від ступеня розкриття розломів в підстеляючій товщі вуглепородного масиву, подрібнення вугільної речовини та крутизни падіння вугільних пластів. За падінням пласта глибинна міграція відбувається за

рахунок сингенетичних і пост генетичних мікротріщин та шаруватої текстури вугільного пласта. Аналогічні процеси міграції передбачаються також в юрській осадово-вулканогенній товщі Азово-Чорноморської акваторії.

В результаті ізотопного дослідження газів вуглепородних масивів Донбасу встановлено, що більше 90% газів товщі можна віднести до термогенних газів, тобто газів, які пройшли додаткові температурні зміни. Тільки в зонах впливу регіональних тектонічних розривних порушень (Вєтківський розлом і Центральний насув), встановлено невелику кількість газу, яку за своїми показниками можна віднести до глибинного. У монолітних, без порушень, товщах вуглепородних масивів та розрізах вище метанової зони встановлено незначну кількість газу, яку можна віднести до біогенних. Таким чином, на основі ізотопного дослідження, газ вуглепородних масивів складається переважно з термогенного газу при незначній кількості біогенного і абіогенного.

На основі проведених досліджень, встановлено, що основними факторами сучасного газового стану вуглепородного масиву є структурно-тектонічна будова і міграція газів розривними порушеннями.

Наші дослідження узгоджуються з роботами А. М. Дмітрієвського і Б. М. Валяєва, в яких вказано, що формування скупчень вуглеводнів і накопичення осадків збагачених органічною речовиною можливо лише в зонах впливу глибинної дегазації, насамперед вуглеводневої [4, 10]. Нові матеріали геологічних аспектів нафтогазонакопиченення на дні Світового океану не суперечать концепції про глибинну природу вуглеводнів у місцях їх інтенсивних розвантажень (перш за все, грязьові вулкани) і в скупченнях газогідратів [10]. Глибинне походження газів у сучасних грязьових вулканах Криму підтверджується роботами Є. Ф. Шнюкова і Є .Я. Нетребської [21].

**Висновки.**

Сучасна газова міграція встановлена у діючих і відпрацьованих виробках вугільних шахт Донбасу і у вугільних штольнях Криму. Кількісні та якісні показники газу у вуглепородних масивах дають нам можливість розглядати їх не тільки як вугільні, а скоріше вугільно-вуглеводневі формації планети з сучасною газовою міграцією зумовленою їх структурно-тектонічною будовою. Не виключено, що саме тектоно-магматичні процеси та ділянки розвантаження глибинної речовини дали можливість накопичення і, надалі, поховання органічної речовини, яку вони збагачували газовими еманаціями в усі наступні активізації й до нині.

Доцільно зазначити, що міграція газів у вуглепородних масивах визначається дифузивним газонасиченням як безперервним процесом руху газу у вуглепородному масиві і швидше за все є основою для термогенних газів. Варто враховувати й темпове газонасичення, яке визначається тривалістю розкриття тектонічних розривних порушень та контролюється тектонічними рухами, в тому числі й землетрусами. Все це збагачує масив глибинними газами, частина яких змінюється вже в осадовій товщі літосфери.

Активні процеси сучасного газового підтоку пов’язані з розривними тектонічними порушеннями у вуглепородних масивах якими і відбувається міграція, акумуляція газів та трансформація газонасичених зон.

**Список літератури**

1. Бондарь А. Д., Томчук Ю. Я. Дифференциация изотопов углерода – ключ к решению проблемы генезиса горючих ископаемых. Харьков: ТО «Эксклюзив», 2002. 97 с.

2. Бондарь А. Д. Изотопы углерода в геохимии горючих ископаемых. Харьков: ТО Эксклюзив, 2004. 92 с.

3. Брижанев А.М. Закономерности изменения газоносности по глубине разработки в Донбассе. *Газоносность угольных бассейнов и месторождений СССР*. Москва, 1979. С. 98–101.

4. Валяев Б.М. Углеводородная дегазация Земли, геотектоника и происхождение нефти и газа (признание и развитие идей П.Н. Кропоткина). *Дегазация Земли и геотектоника*. Москва: ГЕОС, 2012. С. 20-42.

5. Вергельская Н. В., Кичка А. А. Среднеюрская угленосная формація Горного Крыма как потенциальный источник углеводородов в Черноморском басейне. Proceedings of the IV International scientific and technical conference "Geology and hydrocarbon potential of the Balkan-Black Sea region" 11 - 15 september 2013, Varna, Bulgaria. С. 124 – 129.

6. Волошин Н. Е. Внезапные выбросы и способы борьбы с ними в угольных шахтах. Київ: Техніка, 1985. 127 с.

7. Вороной Е. Е. Парагенезис вулканических пород и горючих ископаемых. Харьков: «ОРИГИНАЛ», 2002. 167 с.

8. Газоносность угольных бассейнов и месторождений СССР. Москва: Недра, 1979. Т. 1: Угольные бассейны и месторождения европейской части СССР. 628 с.

9. Грачев А. Ф. Рифтовые зоны Земли. Москва: Недра, 1987. 284 с.

10. Дмитриевский А. Н., Валяев Б. М. Углеводородная дегазация через дно океана: локализованные проявления, масштабы, значимость. *Дегазация Земли и геотектоника*. Москва: ГЕОС, 2002. С. 7 – 36.

11. Забигайло В. Е., Широков А. З. Проблемы геологии газов угольных месторождений. Київ: Наук. думка, 1972. 172 с.

12. Кропоткин П. Н., Ефремова В. Н., Макеев В. М. Напряженное состояние земной коры и геодинамика. *Геотектоника*. 1987. № 1. С. 3–25.

13. Лукин А. Е. Формации и вторичные изменения каменноугольных отложений Днепровско-Донецкой впадины в связи с нефтегазоносностью. Москва: Недра, 1977. 100 с.

14. Лукинов В. В. Литогенез песчаников Донбасса и локальный прогноз их выбросоопасности на шахтах: автореф. дисс. … канд. геол.-мин. наук: 04.00.16. Днепропетровск, 1990. 22 с.

15. Майданович И. А., Радзивилл А.Я. Особенности тектоники угольных бассейнов Украины. Киев: Наук. думка, 1984. 120 с.

16. Нагорный Ю. Н., Нагорный В. Н. О тектонической природе газодинамической зональности в Донецком бассейне. *Выбросы угля, породы и газа*. Київ: Наукова думка, 1976. С. 78–84.

17. Опыт исследования ацетиленоносности 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).

18. Спосіб визначення залишкової газової складової вуглепородного масиву Донбасу, автори А. Я. Радзівілл, О. М. Сукачов, Н. В. Вергельська, М. Ю. Соболєв, Патент № 79554 від 25.04.2013. Державна служба інтелектуальної власності України, 2013.

19. Спосіб визначення зон скупчення газу у відпрацьованому просторі діючих шахт, автори Євдощук М. І., Вергельська Н. В., Патент № 99540 від 10.06.2015. Державна служба інтелектуальної власності України, 2015.

20. Тиркель М. Г., Анциферов В. А., Глухов А. А. Изучение газоносности угленосной толщи. Донецк: ВЕБЕР, 2008. 208 с.

21. Шнюков Е. Ф., Нетребская Е. Я. Корни черноморских грязевых вулканов. *Геология и полезные ископаемые мирового океана*. 2013. № 1. С. 87 – 92.

22. Li X., Nie B. and Ren T. Analysis and Research on Influencing Factors of Coal Reservoir Permeability in Aziz, N (ed), Coal 2008: Coal Operators' Conference, University of Wollongong & the Australasian Institute of Mining and Metallurgy, 2008.P. 197-201.

23. Saghafi A., Gas Content and Emissions from Coal Mining, 11th Underground Coal Operators' Conference, University of Wollongong & the Australasian Institute of Mining and Metallurgy, 2011. P. 285-290.

24. Vergelska N. Features coal-bearing of the Mountain Crimea. XXXIV Sympozjum Naukowy Geologia Formacji Węglonośnych Polski 13 - 14 kwietnia, 2011. p.43 -47.

25. Vergelska N., Kitchka A., Nazarova I. Gas potential of the Krasnoarmiysk coalmine district coal rock massif versus its tectonic deformations, Donbass, Ukraine. *Reviewof the Bulgarian Geological Society, vol. 75, part 1–3, 2014, p. 5-9.*

26. Wang K. and Xue S. Gas Drainage Practices and Challenges in Coal Mines of China in Aziz, N (ed), Coal 2008: Coal Operators' Conference, University of Wollongong & the Australasian Institute of Mining and Metallurgy, 2008, 178-185.

## References

1. Bondar, A., Tomchuk, Yu.. (2002). Differentsiatsiya izotopov ugleroda – klyuch k resheniyu problemy genezisa goryuchikh iskopayemykh. Khar'kov: TO «Eksklyuziv», 2002. 97 s.

2. Bondar', A. (2004). Izotopy ugleroda v geokhimii goryuchikh iskopayemykh. Khar'kov: TO Eksklyuziv, 2004. 92 s.

3. Brizhanev, A. (1979). Zakonomernosti izmeneniya gazonosnosti po glubine razrabotki v Donbasse. *Gazonosnost' ugol'nykh basseynov I mestorozhdeniy SSSR*. Moskva, 1979. S. 98 –101.

4. Valyayev, B. (2012). Uglevodorodnaya degazatsiya Zemli, geotektonika i proiskhodzheniye nefti i gaza (priznaniye i razvitiyeidey P. N. Kropotkina). *Degazatsiya Zemli i geotektonika*. Moskva: GEOS, 2012. S. 20-42.

5. Vergel'skaya, N., Kichka, A. (2013). Sredneyurskaya uglenosnaya formatsiya Gornogo Kryma kak potentsial'nyy istochnik uglevodorodov v Chernomorskom baseyne. Proceedings of the IV International scientific and technical conference "Geology and hydrocarbon potential of the Balkan-Black Sea region" 11 - 15 september 2013, Varna, Bulgaria S. 124 – 129.

6. Voloshin, N. (1985). Vnezapnyye vybrosy i sposoby bor'by s nimi v ugol'nykh shakhtakh. Kiĭv: Tekhníka, 1985. 127 s.

7. Voronoy, Ye. (2002). Paragenezis vulkanicheskikh porod i goryuchikh iskopayemykh. Khar'kov: «ORIGINAL», 2002. 167 s.

8. Gazonosnost' ugol'nykh basseynov i mestorozhdeniy SSSR. Moskva: Nedra, 1979. T. 1: Ugol'nyye basseyny i mestorozhdeniya yevropeyskoy chasti SSSR. 628 s.

9. Grachev, A. (1987). Riftovyye zony Zemli. Moskva: Nedra, 1987. 284 s.

10. Dmitriyevskiy, A., Valyayev, B. (2002). Uglevodorodnaya degazatsiya cherez dno okeana: lokalizovannyye proyavleniya, masshtaby, znachimost'. *Degazatsiya Zemli i geotektonika*. Moskva: GEOS, 2002. S. 7 – 36.

11. Zabigaylo, V., Shirokov, A. (1972). Problemy geologii gazov ugol'nykh mestorozhdeniy. Kiĭv: Nauk. dumka, 1972. 172 s.

12. Kropotkin, P., Yefremova, V., Makeyev, V. (1987). Napryazhennoye sostoyaniye zemnoy kory i geodinamika. *Geotektonika*. 1987. № 1. S. 3–25.

13. Lukin, A. (1977). Formatsii i vtorichnyye izmeneniya kamennougol'nykh otlozheniy Dneprovsko-Donetskoy vpadiny v svyazi s neftegazonosnost'yu. Moskva: Nedra, 1977. 100 s.

14. Lukinov, V. (1990). Litogenez peschanikov Donbassa I lokal'nyy prognoz ikh vybrosoopasnosti na shakhtakh: avtoref. diss kand. geol.-min. nauk: 04.00.16. Dnepropetrovsk, 1990. 22 s.

15. Maydanovich, I., Radzivill, A. (1984). Osobennosti tektoniki ugol'nykh basseynov Ukrainy. Kiyev: Nauk. dumka, 1984. 120 s.

16. Nagornyy, Yu., Nagornyy, V. (1976). O tektonicheskoy prirode gazodinamicheskoy zonal'nosti v Donetskom basseyne. *Vybrosy uglya, porody i gaza*. Kiĭv: Naukovadumka, 1976. S. 78–84.

17. Opyt issledovaniya atsetilenonosnosti ugol'nykh plastov shakht Donetsko-Makeyevskogo rayona. A. N. Sukachev, A. YA. Radzivill, V. V. Kas'yanov, A. I. Suslo. Kiyev, 1992. 55 s. (Preprint AN Ukrainy, In-t geologicheskikh nauk).

18. Sposib vyznachennya zalyshkovoyi hazovoyi skladovoyi vuhleporodnoho masyvu Donbasu, avtory A .YA. Radzivill, O. M. Sukachov, N. V. Verhel′s′ka, M. YU. Sobolyev, Patent № 79554 vid 25.04.2013. Derzhavna sluzhba intelektual′noyi vlasnosti Ukrayiny, 2013.

19. Sposib vyznachennya zon skupchennya hazu u vidprats′ovanomu prostori diyuchykh shakht, avtoryYevdoshchuk M. I., Verhel′s′ka N. V., Patent № 99540 vid 10.06.2015. Derzhavna sluzhba intelektual′noyi vlasnosti Ukrayiny, 2015/

20. Tirkel', M., Antsiferov, V., Glukhov, A. (2008). Izucheniye gazonosnosti uglenosnoy tolshchi. Donetsk: VEBER, 2008. 208 s.

21. Shnyukov, Ye. , Netrebskaya, Ye. (2013). Korni chernomorskikh gryazevykh vulkanov. *Geologiya I poleznyye iskopayemyye mirovogo okeana*. 2013. № 1. S. 87 – 92.

22. Li, X., Nie, B. and Ren, T. (2008). Analysis and Research on Influencing Factors of Coal Reservoir Permeability in Aziz, N (ed), Coal 2008: Coal Operators' Conference, University of Wollongong & the Australasian Institute of Mining and Metallurgy, 2008.P. 197-201.

23. Saghafi, A. (2011). Gas Content and Emissions from Coal Mining, 11th Underground Coal Operators' Conference, University of Wollongong & the Australasian Institute of Mining and Metallurgy, 2011. P. 285-290.

24. Vergelska, N. (2011). Features coal-bearing of the Mountain Crimea. XXXIV Sympozjum Naukowy Geologia Formacji Węglonośnych Polski 13 - 14 kwietnia, 2011. p.43 -47.

25. Vergelska, N., Kitchka A., Nazarova I. (2014). Gas potential of the Krasnoarmiysk coalmine district coal rock massif versusits tectonic deformations, Donbass, Ukraine. *Review of the Bulgarian Geological Society, vol. 75, part 1–3, 2014, p. 5-9.*

26. Wang, K. and Xue, S. (2008). Gas Drainage Practices and Challenges in Coal Mines of China in Aziz, N (ed), Coal 2008: Coal Operators' Conference, University of Wollongong & the Australasian Institute of Mining and Metallurgy, 2008, 178-185.

Надійшла до редакції 15.10.2021

**Вергельська Наталія Вікторівна** – доктор геологічних наук, старший науковий співробітник, завідувач відділу гірнича геоекологія Державної установи «Науковий центр гірничої геології, геоекології та розвитку інфраструктури НАН України», (м. Київ, Україна).
E-mail: vnata09@meta.ua
**Скопиченко Ігор Михайлович** – кандидат геолого-мінералогічних наук, директор Державної установи «Науковий центр гірничої геології, геоекології та розвитку інфраструктури НАН України», (м. Київ, Україна).
E-mail:i.skopychenko@gmail.com

## PECULIARITIES OF MODERN GAS MIGRATION IN THE COAL COAL-ROCK MASSIFS OF THE DONETS BASIN

***Purpose.*** *Investigate the change in indicators of qualitative and quantitative gas composition in coal massifs,when the state of the coal rock massif changes, including in gas-dynamic situations.*

***Methodology.*** *The paper uses traditional structural-geological methods, generalization methods and developed and patented by the authors of the method for determining the gas state of coal massifs on the basis of gas chromatography.*

***Results.*** *The change of the residual gas component in coal massifs is investigated.The stages of change of qualitative and quantitative gas composition in coal massifs at gas - dynamic phenomena are established.The ways of gas migration in coal massifs and technogenic reservoirs are determined.The concept of rate gas saturation of a coal massif, which is controlled by the action of discontinuous tectonics, is introduced.*

***Scientific novelty****.For the first time, the conditions for the formation of modern gas-saturated zones in coal massifs due to gas migration and rate gas saturation have been determined.The influence of discontinuous tectonic disturbances on the migration and accumulation of gases in coal massifs has been established.*

***Practical significance.*** *The influence of gas migration on the formation of gas-saturated zones in coal-bearing massifs and man-caused reservoirs of the spent space of operating mines is established,which is important to ensure the safe operation of coal mining enterprises and degassing of coal massifs.*

***Key words:*** *gas-bearing, gas migration, tectonic disturbances, coal massif, man-caused collectors, Donets basin.*

**Vergelska Nataliia –** Doctor of geological sciences, Head of the Department of Mining Geoecology, State Institution «Scientific Center for Mining Geology, Geoecology and Infrastructure Development of the National Academy of Sciences of Ukraine», (Kyiv, Ukraine).
Email: vnata09@meta.ua
**Skopychenko Ihor**– Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Director, State Institution «Scientific Center for Mining Geology, Geoecology and Infrastructure Development of the National Academy of Sciences of Ukraine», (Kyiv, Ukraine).
Email: i.skopychenko@gmail.com