

УДК 622.411.332:533.17

В'ячеслав ЛУКІНОВ¹, Людмила ПИМОНЕНКО¹,
Олександр БУРЧАК¹, Любов КУЗНЕЦОВА²

¹Інститут геотехнічної механіки
ім. М. С. Полякова НАН України, Дніпропетровськ,
e-mail: nanu@igtm.dp.ua

²ВО "Укрвуглегеологія", Донецьк,
e-mail: luybov_kuznetsov@mail.ru

УМОВИ ФОРМУВАННЯ МЕТАНОНОСНОСТІ ВУГІЛЬНИХ ПЛАСТІВ ДОНБАСУ

Запропоновано нову гіпотезу формування газонасності вугільних пластів, за якою вугільні гази, насамперед, вуглеводневі, генетично пов'язані з органічною речовиною кам'яного вугілля. Залежно від термодинамічних умов на різних етапах розвитку Донбасу існує два способи походження газів: перший – метаноутворення ($V_{\text{утв}}$), що є наслідком структурних трансформацій вугільної речовини під час метаморфізму при нагромадженні вугленосної товщі; другий – метаногенерація ($V_{\text{ген}}$), що відбувається в післяінверсійний час унаслідок релаксації вугільним пластом нагромадженої вільної енергії під впливом статичних та динамічних навантажень, викликаних техногенною або тектонічною дією. Обсяги газів, генерованих речовиною під механічним впливом, значно менші, ніж газів, утворених на першому етапі. За запропонованою гіпотезою саме швидкоплинними процесами метаногенерації можна пояснити великі обсяги газів, що супроводжують раптові викиди вугілля. Зміна напруженого стану масиву також призводить до механохімічних реакцій та генерації газів, які нагромаджуються у відпрацьованих виробках закритих шахт.

Ключові слова: Донбас, метаноутворення, метаногенерація, тектоніка, компонентний склад газів, газонасність вугільних пластів.

При постійному збільшенні глибини видобутку вугілля в Донбасі дуже важливим та нагальним питанням є прогноз гірничо-геологічних умов ведення робіт, зокрема оцінка газонасності вугільних пластів. Відповідно, зростає актуальність наукових досліджень процесів утворення метану вугільних родовищ та інших флюїдів. Дефіцит газоподібних енергоносіїв додає дослідженням процесів, які відбуваються у вугільній речовині, ще більшого значення. Важливість проблеми підсилюється потужним внеском метану в парниковий ефект, а також необхідністю поліпшення технологічної безпеки видобутку енергоносіїв. Питання походження метану у вугленосних відкладах Донбасу залишається дискусійним, оскільки досі не встановлені джерела

його емісії та існують значні розбіжності в наукових уявленнях щодо процесів його утворення.

Мета роботи – дослідження умов, обсягів та термінів природних процесів емісії вуглеводневих флюїдів, їхньої міграції та нагромадження вуглебною товщею Донецького басейну.

У літературних джерелах превалюють дві протилежні гіпотези походження метану вугільних пластів. Перша, найбільш поширена, пов'язує емісію метану з процесами метаморфізму (Забигайло, Широков, 1972; Кравцов, Токарева, 1980), за другою – метан та інші гази надійшли до вуглепородного масиву зонами глибинних розломів з мантії, астеносфери, фундаменту (Кропоткин, 1955).

За першою гіпотезою, основна маса метану вугільних пластів утворилася в процесі регіонального метаморфізму при зануренні осадової товщі на першому етапі розвитку Донецького басейну за максимальних значень температури та тиску (Забигайло, Широков, 1972; Кравцов, Токарева, 1980 та ін.). Твердження, що переважна кількість метану утворилася саме в цей період і збереглася до сьогодні, базується на прямій залежності метаноносності вугілля від ступеня метаморфізму, який відповідає термодинамічним умовам, що існували в гірському масиві на різних глибинах. Вихід метану при перетворенні органічної речовини, залежно від марки вугілля, становить ($\text{м}^3/\text{т}$): Б – 68; Д – 150; Г – 210; Ж – 230; К – 270; ПС – 287; П – 330; А – 420. Але в жодному з вугільних пластів таких обсягів метану не зафіксовано – наявна метаноносність вугілля не перевищує 40–45 $\text{м}^3/\text{т}$. Нескладні розрахунки і виміри сучасної газоносності вугільних пластів Донбасу дозволяють стверджувати, що значна частина флюїдів ($\approx 90\%$), і зокрема метану, утворених у процесі повільного переривистого занурення басейну, мігрувала з вугільних пластів до вмісних порід та денної поверхні тріщинами і розломами.

Розрахована щільність потоку метану з поверхні в атмосферу становить $50 \text{ см}^3/\text{м}^2$ на рік (Кравцов, Войтов, 1980). Урахувавши вік Донбасу ($25\text{--}30 \cdot 10^7$ років), автори дійшли висновку про повну міграцію метану, утвореного при метаморфізмі вугілля. Тому дослідники вважали, що метан, який сьогодні знаходиться в масиві, не є продуктом метаморфізму вугільної речовини, а надійшов розломами з глибини (мантії, астеносфери, фундаменту). Основним підтвердженням цієї гіпотези ймовірно є підвищений вміст у складі вугільних газів гелію, важких вуглеводнів (ВВ) та збагачення метану і двоокису вуглецю ізотопом $\delta^{13}\text{C}$. Але детальні дослідження цих складових показали цілу низку протиріч (принаймні для Донбасу):

- підтоком з глибини не можна пояснити нерівномірність розподілу важких вуглеводнів у метаморфічному ряді – максимальний вміст спостерігається у вугіллі середньої стадії (Ж–К) (Забигайло, Широков, 1972);
- не збігається з цими уявленнями також зміна вмісту ВВ з глибиною: у Донбасі на невеликих глибинах (до 250 м) ВВ немає, максимальна кількість фіксується на глибинах 800–1300 м, далі вона зменшується, і на глибинах понад 1800 м вони майже відсутні (Забигайло, Широков, 1972). Відсутність ВВ з глибиною підтверджують дані досліджень параметричних свердловин Донбасу, глибиною до 3 км (Анциферов и др., 2005). На деяких ділянках вміст ВВ з глибиною збільшується, тому кожний конкретний випадок треба

вивчати детально й окремо. До прикладу, таке явище спостерігається в Західному Донбасі, на шахті Степовій (марка вугілля Г), але слід зауважити, що це відбувається на тлі зміни марки вугілля (до Ж) і в межах зазначених вище глибин, що є цілком закономірним;

- у Донбасі відсутній закономірний зв'язок параметрів порушень з аномаліями ВВ, бітумів та гелію, про що свідчать усереднені дані зі складу вугільних газів у різних за тектонічними умовами основних вуглевидобувних районах Донбасу (Забигайло, Широков, 1972; Кравцов, Войтов, 1980). Проте зазначимо, що в деяких структурах кількість ВВ з глибиною зростає: Чайкинська флексура, Юнкомівський насув; у низці порушень присутні ВВ, гелій, аргон і водень; на шахті ім. О. Ф. Засядька з глибини 670 м у пісковиках пласта l_1S_3 у зоні малоамплітудної порушеності, у якій відбулася серія аварій, зафіксовані легкі фракції нафти. Більша кількість гелію, аргону та водню, ніж зазвичай у вугільних газах, свідчить про підтікання і присутність у пластах легких глибинних газів, генетично непов'язаних із вугленосними відкладами. Безумовно, таке підтікання газів відбувається в специфічних геологічних умовах: великоамплітудних порушеннях, просторово та генетично пов'язаних із глибинними розломами, а в зонах вулканічної діяльності не можна заперечувати існування потужних потоків мантійних флюїдів. Зважений підхід щодо синтезу і генези природних вуглеводнів висвітлений у новій теорії абіогенно-біогенного дуалізму (Сворень, Наумко, 2006; Наумко, 2006; Глибинні..., 2009). Але в Донбасі, за останніми геофізичними даними (профіль Добре), наявний лише один поздовжній мантійний розлом, закладений у девоні, з найбільшою активізацією 250 млн років тому (середина пермі). Інші розломи – корові. Отож, будова Донбасу, історія його розвитку не дозволяють перебільшувати роль мантійних флюїдів у формуванні газонасиченості вуглепородної товщі. Крім того, сьогодні немає змоги експериментально оцінити параметри цих потоків (тиск, температура, склад, обсяги), тому всі наступні теоретичні побудови щодо цього не можна ані спростувати, ані довести. І твердження, що в усі малоамплітудні викидонебезпечні порушення Донбасу метан та його гомологи надійшли з мантії (фундаменту), а не утворилися внаслідок тектонічних процесів, не має доказів;

- результати досліджень ізотопного складу метану різного походження, наведені в роботах (Кизильштейн, Булгаревич, 2002; Галимов, 1968), також переконливо доводять, що “вугільний метан не має зовнішніх (стосовно пласта) джерел і не є об'єктом бактеріальної генерації на стадії торфонакопичення”;

- у роботі (Еременко, Чилингар, 1996) частка абіогенних вуглеводнів у загальному балансі земної кори також оцінюється десятими частками відсотка або “у кращому випадку першими відсотками”. Зауважимо, що можливості надходження з глибин незначної кількості легких газів, і метану зокрема, жоден автор повністю не заперечує. Але важкі вуглеводні та інші гази у вугільних пластах, очевидно, нагромаджувалися по-різному. Тому немає підстав вважати, що всі вугільні гази мають спільне, тим більше мантійне, походження.

Слід зазначити, що розміри молекул гелію або водню дозволяють розглядати твердотільну дифузію як реальний механізм міграції цих газів із глибин

до осадової товщі і далі – до денної поверхні. Натомість для великих молекул зі складною просторовою будовою (важкі вуглеводні, бітуми) проникність вугільних пластів та гірських порід майже відсутня (Храмов, Любчак, 2009). Тому через дуже низьку рухливість важкі вуглеводні мають нагромаджуватися і зберігатися поруч з місцями утворення.

Проаналізувавши наукові публікації, доходимо висновку, що дві основні гіпотези походження газів вугільних родовищ, навіть доповнені і вдосконалені, не пояснюють появи значних обсягів метану під час раптових викидів вугілля та виділення газів у відпрацьованих виробках.

Підсумуємо: якщо майже весь метан, утворений на першому етапі розвитку басейну, втрачено, а підтікання флюїдів розломами з глибини не може суттєво вплинути на склад вугільних газів, то можна припустити, що додаткові обсяги газів були генеровані органічною речовиною на післяінверсійному етапі, завдяки енергії тектоно-сейсмічних рухів та техногенних процесів. Це припущення послугувало підґрунтям для нової гіпотези, за якою вугільний метан генетично пов'язаний з органічною складовою вугільних пластів, але він еманується твердою речовиною внаслідок двох різних за термодинамічними умовами процесів – метаноутворення і метаногенерації. Розмежування цих процесів має не тільки наукове значення, але й необхідне для прогнозування обсягів та кінетики емісії газів, з метою оцінки вуглеводневого потенціалу і гірничо-геологічних умов видобутку енергоносіїв. У роботі (Метаногенерація..., 2010) зазначено про “не досить чітке використання” терміна “метаногенерація” та запропоновано вживати його тільки для процесів, час проходження яких не перевищує періоду техногенного впливу на вугільний пласт. Але визначення тільки за часом проходження не дозволяють враховувати умови появи та розвитку процесу. Тому термін має відповідати суті процесу, який ним визначається.

Умови досліджень. На нашу думку, процеси метаноутворення і метаногенерації суттєво різні. *Метаноутворення* відбувається в процесі вуглефікації рослинних залишків. Це природне, тривале виділення низькомолекулярних з'єднань унаслідок структурних трансформацій вугільної речовини. Воно проходить рівнобіжно зі структуризацією, циклізацією та поліконденсацією органіки і підвищенням вмісту в речовині ароматичної складової. Унаслідок термоактивованих перегруповань валентних зв'язків у вугільній речовині водночас зростають графітоподібні циклічні сполуки, а також вуглеводневі (аліфатичні) ланцюжки. Перехід твердої фази в газоподібну у вигляді молекул CO, CO₂, H₂O, CH₄ та ін. відбувається з гетерогенним утворенням вільних радикалів (Мюллер, Попов, 1957). Метаноутворення проходить повільно, вугільний пласт як термодинамічна система перебуває в стані, близькому до рівноваги. У таких умовах найбільш імовірними будуть структурні трансформації з мінімальною енергією активації. Для високомолекулярних з'єднань такими є ізомеризація і конформаційні переходи із переносом водню. При повільному прогріві речовини атоми водню циклічних ділянок керогену встигають мігрувати до периферійної аліфатичної частини молекули. Унаслідок перерозподілу водню молекулярна структура збагачується кінцевими метильними групами, які відірвавшись утворюють метан. Водночас ароматична складова вугільної речовини в цих умовах поліконден-

сується і структурується (Превращение..., 1958). У природних умовах метаноутворення перманентне (Кизильштейн, Булгаревич, 2002), а його інтенсивність залежить від параметрів термодинамічної системи. При інверсії та на сучасному етапі розвитку басейну метаноутворення може продовжуватися, але тільки за більш жорстких термодинамічних умов, насамперед, температури, яка з початку етапу інверсії тільки зменшується.

На відміну від метаноутворення, *метаногенерація* (від лат. generatio – народження, розмноження) – швидкоплинний процес деструкції аліфатичної складової вугільної речовини з виділенням низькомолекулярних з'єднань під впливом різкої зміни термодинамічних умов, що суттєво зміщує “рівновагу” у системі в бік деструкції високомолекулярних сполук. **Метаногенерація не супроводжується** структуризацією речовини, має значно менші масштаби та може бути спричинена як техногенною дією, так і природними чинниками, до прикладу, тектоно-сейсмічними процесами. Процес метаногенерації визначається не тільки різкою зміною термодинамічних умов, але й залежить від потенціалу нагромадженої у вигляді структурних трансформацій вільної енергії, яка є основним фактором розвитку процесів переходу твердої фази в газоподібну (Превращение..., 1958). Енергія механічного впливу розподіляється тільки по зв'язках вуглецевого остову, на відміну від теплової, яка впливає на всі міжатомні зв'язки в речовині. Тому механічні навантаження не тільки прискорюють деструктивні процеси, але й впливають на характер кінцевих продуктів. Превалююча роль тиску при тектонічній дії (за умови зниження ролі температури) приводить до зміни характеру структурних трансформацій, механізмів, глибини та обсягів перетворень. За таких термодинамічних умов відбувається розщеплення з'єднань, відрив не тільки кінцевих метильних груп, але й цілих бокових аліфатичних ланцюгів, переважно у вигляді насичених з'єднань – важких вуглеводнів. Твердий залишок при цьому збагачується вуглецем – карбонізується (Еременко, Чилингар, 1996; Превращение..., 1958).

Отже, будемо вважати, що основні процеси метаморфізму з відповідними обсягами метаноутворення пройшли на першому етапі геотектонічного режиму. Унаслідок інверсії, під час якої породи були виведені в приповерхневу зону, а температура та тиск (гравітаційний) суттєво зменшилися, гірський масив дегазувався. До нині збереглися тільки залишки утворених на першому етапі газів ($\approx 10\%$). Метаногенерація, на нашу думку, відбувалася в післяінверсійний період під тектоно-сейсмічним впливом. Саме з механохімічними процесами треба пов'язувати відхилення від середніх, для конкретної марки вугілля, показників метано- чи газонасиченості. Якщо це так, то доказом правомірності цієї гіпотези має бути підвищення вмісту ВВ у зонах тектонічних порушень, які через великі розміри і просторову будову молекул не могли ані прийти з мантії, ані мігрувати до денної поверхні після відокремлення від твердої речовини.

Дослідження. Розглянемо викопну органіку як гетерофазну систему, утворення якої та подальші зміни в її атомно-молекулярній структурі відбувалися і відбуваються внаслідок перетворення одних видів енергії в інші, у вигляді структурних трансформацій під дією градієнта тектонічної (механічної) енергії в геологічному середовищі. При ізотермічних процесах робота

виконується за рахунок зміни вільної енергії. Вільна енергія Гіббса (G) є критерієм рівноважності та спрямованості процесів (Вороб'єв, 1980):

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S,$$

де ΔH – ентальпія; T – температура; ΔS – ентропія системи.

Оскільки після інверсії температура майже не змінюється, то $\Delta G = \Delta H$. Таким чином, енергія, що надходить у вугільний пласт, йде на підвищення ентальпії системи ($\Delta H = \Delta U + P\Delta V$), яка складається із внутрішньої енергії (ΔU), релаксація якої призводить до структурних трансформацій речовини (Преобразование..., 1958) та виконання роботи з формування дефектів. Окрім того, тепловий потік, хоч і меншої потужності, але існує. Унаслідок цього у вугільній речовині теж постійно поповнювалися запаси вільної енергії.

Напрямок змін, викликаних у системі процесами релаксації нагромадженої вільної енергії, можна оцінити з допомогою принципу Ле Шательє–Брауна, за яким будь-яка зовнішня дія спричиняє в рівноважній фізичній системі зміни, що зменшують безпосередній результат цього впливу (Вороб'єв, 1980). Відповідно органічна речовина як термодинамічна система намагається зменшити нагромаджений потенціал внутрішньої вільної енергії шляхом деструкції високомолекулярних з'єднань із виділенням низькомолекулярних сполук. Отже, маємо визначені джерела енергії та механізми структурних трансформацій в органічній речовині, які призводять до метаногенерації в умовах статичних та динамічних навантажень.

Питанням структурних перетворень у полімерах під впливом механічних навантажень присвячені відомі роботи (Барамбойм, 1978; Фролков Г. Д., Фролков А. Г., 2005), у яких досліджено закономірності та механізми структурних трансформацій у високомолекулярних з'єднаннях. Безумовно, кам'яне вугілля не є полімером, але структурні елементи вугільної речовини поєднані між собою за принципами будови полімерів, тому на них можуть поширюватися виявлені закономірності (Саранчук и др., 1988).

Тектонічний вплив і сейсмічність як джерела енергії фізико-хімічних процесів у твердій органічній речовині розглянуті в роботах (Галимов, 1968; Еременко, Чилингар, 1996). Автори дійшли висновку, що наслідком цих видів впливів на вкопну органіку є виділення низькомолекулярних з'єднань. Наведені М. О. Черським і його колегами (Влияние..., 1985) результати лабораторних експериментів показали, що під впливом статичних та динамічних навантажень, які моделюють дію природних тектоно-сейсмічних чинників, вкопна органічна речовина трансформується за низьких температур (20–70 °C). У таких умовах спостерігається генерація газоподібних компонентів, серед яких і вуглеводні. Лабораторні та натурні дані (Влияние..., 1985; Фролков Г. Д., Фролков А. Г., 2005) переконливо доводять, що внаслідок тектонічної (механічної) дії в структурі твердої вугільної речовини відбуваються незворотні зміни: вміст вуглецю збільшується, натомість водню – зменшується, а структура речовини спрощується. Зафіксовано також істотне зростання кількості газів унаслідок зовнішнього впливу та доведено суттєві зміни їхнього молекулярного складу. У газах, генерованих під впливом вібрації, упевнено ідентифікуються гомологи метану і молекулярний водень, що свідчить про структурні трансформації речовини саме на атомно-молекулярному рівні (Павленко, 2004).

Відсутність зміни відбивної здатності вітриніту викликає сумніви щодо процесу емісії метану “у локальних зонах аномальних динамічних навантажень”. Цей показник залежить від стану молекулярної структури вугільної речовини. Численні дослідження не виявили зміни відбивної здатності в зонах тектонічного впливу (Еременко, Чилингар, 1996). Але цей факт цілком узгоджується із положенням запропонованої гіпотези про те, що при метаногенерації не відбуваються метаморфні перетворення в повному обсязі. Різка зміна тиску спричиняє швидкий ріст гетерогенного розпаду метастабільної вуглеводневої “бахроми”, але не супроводжується конденсацією ароматичної складової.

Наведені результати теоретичних й експериментальних розробок доводять можливість генерації метану та його вищих гомологів унаслідок механохімічних реакцій. Тому, на думку авторів статті, приуроченість ВВ до зон тектонічних порушень або розущільнених шарів масиву є результатом саме механохімічних процесів у вугіллі. При цьому міграція важких вуглеводнів неможлива через великі розміри та просторову будову їхніх молекул.

Щоб підтвердити запропоновану гіпотезу, було проведено низку досліджень як у масиві, так і в лабораторних умовах. Важливі результати отримано при аналізі проб із вугільних пластів поля шахти ім. О. Ф. Засядька (40 проб). Випробування вугільних пластів газокернабірниками показало, що до складу газів вугільних пластів входять: метан (CH_4) та його гомологи – етан (C_2H_6), пропан (C_3H_8), бутан (C_4H_{10}), а також азот (N_2), вуглекислий газ (CO_2), водень (H_2), гелій (He). Переважає метан, його вміст коливається в межах 70–99 %. Вуглекислий газ присутній у всіх пробах – від 1 до 6,9 %.

Під час проведення натурального експерименту встановлено, що кількість ВВ залежить від місця відбору проби в лаві: у нижній частині (конвеєрному штреку), починаючи з бутану (рідкі вуглеводні), у раніше розкритому і свіжорозкритому вугіллі ВВ є в майже рівнозначних кількостях, а в пробах, відібраних на вентиляційному штреку, кількість ВВ у свіжорозкритому вугіллі удвічі більша, ніж у вугіллі, розкритому раніше. Отже, десорбція важких вуглеводнів відбувається переважно у верхній частині лави і дуже повільно (через два роки). Після вироблення вугілля метан десорбується повністю, а важкі вуглеводні – лише наполовину від природної концентрації.

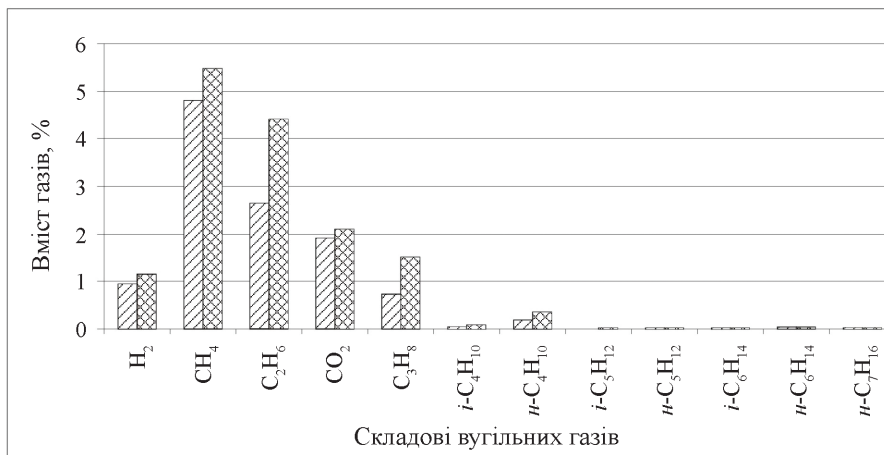
Після досліджень газоносності та компонентного складу газів відібрані вугільні зразки були подрібнені. Експериментальні роботи проводили у відділі лабораторних досліджень ВО “Укрвуглегеологія” за стандартними методиками за температури 65–70 °С, час подрібнення 40–60 хв. Вивчали вплив механічного подрібнення на склад газів вугільних зразків. Аналіз отриманих даних (рисунок) показав, що при подрібненні вугілля кількість вищих гомологів метану збільшується в 1,7–2,0 раза. Суттєво зростає вміст CO_2 , що, імовірно, пов’язано з окисненням вугілля при контакті з повітрям. Зменшення вмісту гелію можна пояснити його втратою через рухливість. Ці дані також підтверджують правомірність гіпотези про можливість генерації важких вуглеводнів унаслідок механічного (тектонічного) впливу.

Основою для припущення про тектонічний чинник утворення ВВ або бітумів також слугували виміри напруженого стану вуглепородного масиву на дев’яти шахтах Донбасу (Кулинич и др., 1992). Для Донбасу характерне

а



б



1 2

Зміна складу газів проб вугілля пласта m_3 шахти ім. О. Ф. Засядька:
 а – 18-а східна лава; б – 18-а західна лава; 1 – до подрібнення; 2 – після подрібнення.

різнокомпонентне поле напруг, у якому вертикальна компонента (σ_2) дорівнює тиску вищерозміщених порід та є середньою за величиною, а горизонтальні (σ_1 і σ_3) – є відповідно максимальними і мінімальними. Виходячи з того, що з глибиною тиск порід (σ_2) закономірно збільшується ($H\gamma$), а величини максимальної та мінімальної компонент горизонтальних напруг (σ_1 і σ_3) зберігаються, то існує певна глибина ($H_{гр}$), на якій величина тиску вищерозміщеної товщі (σ_2) буде дорівнювати мінімальній горизонтальній складовій (σ_3). Розділивши σ_3 на γ отримаємо $H_{гр}$. Вище цієї глибини $\sigma_2 < \sigma_3$, нижче – $\sigma_2 > \sigma_3$. Три виділені області мають різний напружений стан і характер тріщинотворення. Тобто, при збереженні просторового положення напрямків на різних глибинах відбувається зміна величин головної нормальної напруги

або “переіндексація” осей (термін К. Ж. Семінського (Семинский, Адамович, 2004)). Проте літолого-фаціальний склад вуглевмісної товщі дуже мінливий, тому правильніше розглядати не межу, а деяку область, імовірно, розташовану в інтервалі $H_{\text{пр}} \pm 100$ м, у якій існують умови, що призводять до зсувних дислокацій – одного з найбільш ефективних способів механічного стимулювання хімічних реакцій. Тобто, саме на цих глибинах найбільш можлива поява ВВ або бітумів.

До прикладу, у межах поля шахти ім. О. Ф. Засядька напруги σ_2 і σ_3 на глибинах 620–980 м характеризуються однаковою величиною на всіх напрямках, перпендикулярних до σ_1 . Приблизно на таких самих глибинах на цій шахті змінюються величини головної нормальної напруги, що спричиняє додаткове механічне навантаження на вугільний пласт і генерацію саме важких вуглеводнів.

Таким чином, приуроченість аномального вмісту важких вуглеводнів до тектонічних дислокацій та на визначених глибинах цілком логічно пояснюється ступенем порушеності вугільних пластів.

Обговорення результатів. Сучасна газонасність вугільних пластів Донбасу формувалася упродовж історії розвитку родовища різними способами і внаслідок багатьох фізичних, фізико-хімічних та хімічних процесів. У полікомпонентній, гетерогенній, анізотропній, метастабільній вугільній речовині не можна стовідсотково відкидати жодного чинника, здатного вплинути на емісію чи нагромадження газоподібної фази (флюїдів). Наслідком такого складного і багатоетапного формування газонасності є нестабільність складу та обсягів вугільних газів. Але наявні на сьогодні у вуглепородному масиві вуглеводні (метан і його гомологи, включно з важкими вуглеводнями та бітумами), на нашу думку, здебільшого генетично пов’язані з органічною речовиною вугілля.

Вугленосна товща має майже нульову проникність, тому про фільтраційні підтікання газів з глибин безпосередньо через масив говорити марно. Підтікання глибинними розломами через зони великоамплітудних порушень, генетично пов’язаних з цими розломами, теоретично можливе, але наявність таких потоків, а тим більше їхній суттєвий вплив на газонасність пластів у цих зонах необхідно довести.

Водночас втрата пластами приблизно 90 % обсягів газів, утворених на першому етапі геотектонічного режиму, вважається доведеним фактом. Тому не можна нехтувати теоретичною можливістю твердотільної дифузії через непроникний гірський масив малих за розміром молекул – водню, гелію і навіть метану. Але якщо ці молекули за геологічний час пройшли з мантиї через осадову товщу, то і твердження про їхнє нагромадження будь-де в масиві сумнівне. Процес дифузії малих і дуже рухливих молекул буде продовжуватися до денної поверхні. Щодо гомологів метану, важких вуглеводнів та бітумів, то для них міграція є дуже ускладненою, і тому вуглеводні з великими просторовими молекулам будуть залишатися поблизу місця свого утворення. Наявність важких вуглеводнів у зонах тектонічних порушень дозволяє стверджувати, що сучасна газонасність остаточно сформувалася на етапах інверсії та орогенезу внаслідок тектоно-сейсмічного впливу. Насамперед, це стосується зон з аномальною метанонасністю.

Під впливом механічних навантажень в умовах низьких температур структурні трансформації вугілля призводять до нагромадження в молекулярній структурі вільної енергії та підготовки речовини до метаногенерації. Сучасна метано- чи газонасність вугільних пластів формується значною мірою після активування механохімічних реакцій, які починаються внаслідок розвантаження вугільного пласта або розсіяної органічної речовини в породах при техногенному або тектонічному впливі.

Отже, запропоновано нову гіпотезу формування газонасності вугільних пластів, за якою вугільні гази, і насамперед, вуглеводневі, генетично пов'язані з органічною речовиною кам'яного вугілля. Залежно від термодинамічних умов на різних етапах розвитку Донбасу існує два способи виділення газів: метаноутворення ($V_{\text{утв}}$), що є наслідком структурних трансформацій вугільної речовини в процесі метаморфізму при нагромадженні вугленосної товщі, та метаногенерація ($V_{\text{ген}}$), яка відбувається в післяінверсійний час унаслідок релаксації вугільним пластом як термодинамічною системою нагромадженої вільної енергії під впливом статичних та динамічних навантажень, спричинених техногенною або тектонічною дією.

Теоретично можливий третій шлях формування газонасності через підтік метану, водню та гелію з мантиї ($V_{\text{підт}}$), але вплив глибинних флюїдів на сучасну метано- і газонасність вугільних пластів не суттєвий. Причому співвідношення між обсягами газів, що формуються цими трьома шляхами, має вигляд $V_{\text{утв}} > V_{\text{ген}} > V_{\text{підт}}$, а їхні величини (у вказаній послідовності) можуть відрізнятися на порядок.

Анциферов А. В., Голубев А. А., Туркель М. Г. Газонасность и угленосность глубоких горизонтов Донбасса // Геотехн. механіка : міжвід. зб. наук. пр. / ІГТМ НАН України. – Дніпропетровськ, 2005. – Вип. 53. – С. 31–38.

Барамбойм Н. К. Механохимия высокомолекулярных соединений. – М. : Химия, 1978. – 384 с.

Влияние тектоно-сейсмических процессов на образование и накопление углеводородов / Н. А. Черский, В. П. Царев, Т. И. Сороко и др. – Новосибирск : Наука, 1985. – 260 с.

Воробьев А. А. Равновесие и преобразование видов энергии в недрах. – Томск : Изд-во ТГУ, 1980. – 211 с.

Галимов Э. М. Геохимия стабильных изотопов углерода. – М. : Недра, 1968. – 226 с.

Глибинні флюїди – вагомий чинник постседиментогенного мінералогенезу вуглепородних масивів Донецького та Львівсько-Волинського басейнів України (за матеріалами глибокого буріння) / Й. М. Сворень, І. М. Наумко, І. М. Зінчук і ін. // Доп. НАН України. – 2009. – № 10. – С. 132–137.

Еременко Н. А., Чилингар Г. В. Геология нефти и газа на рубеже веков. – М. : Наука, 1996. – 176 с.

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

Кизильштейн Л. Я., Булгаревич С. Б. Геохимические процессы образования угольного метана // Химия тверд. топлива. – 2002. – № 3. – С. 82–89.

Кравцов А. И., Войтов Г. И. Некоторые проблемные вопросы геологии и геохимии природных газов угольных месторождений // Газонасность угольных бассейнов и месторождений СССР. – М. : Недра, 1980. – Т. 3. – С. 186–204.

- Кравцов А. И., Токарева Э. Г.* Состав и генезис природных газов угольных бассейнов и месторождений // Там же. – С. 24–42.
- Кропоткин П. Н.* Проблемы происхождения нефти // Сов. геология. – 1955. – Вып. 47. – С. 104–125.
- Кулинич В. С., Шевелев Г. А., Егоров С. И.* Методы и средства определения параметров геомеханического состояния массива. – Донецк : ЦБНТИ, 1992. – 202 с.
- Метаногенерация в угольных пластах / А. Ф. Булат, С. И. Скипочка, Т. А. Паламарчук, В. А. Анциферов.* – Днепропетровск : Лира ЛТД, 2010. – 328 с.
- Мюллер Р. Л., Попов В. С.* К вопросу о кинетике газовой выделению в связи с проблемой метаморфизма угля // Журн. приклад. химии. – 1957. – Т. 30. – № 2. – С. 271.
- Наушко І. М.* Флюїдний режим мінералогенезу породно-рудних комплексів України (за включеннями у мінералах типових парагенезисів) : автореф. дис. ... д-ра геол. наук : 04.00.02 / ІГТГК НАН України. – Львів, 2006. – 52 с.
- Павленко М. В.* Извлечение метана из угольных пластов с использованием вибрационного воздействия. – М. : Изд-во МГГУ, 2004. – 155 с.
- Преобразование нефти в природе / П. Ф. Андреев, А. И. Богомолов, А. Ф. Добрянский и др.* – Л. : Изд-во нефт. и горн.-топлив. л-ры, 1958. – 419 с.
- Саранчук В. И., Айруни А. Т., Ковалев К. Е.* Надмолекулярная организация, структура и свойства угля. – Киев : Наук. думка, 1988. – 192 с.
- Сворень Й. М., Наушко І. М.* Нова теорія синтезу і генезису природних вуглеводнів: абіогенно-біогенний дуалізм // Доп. НАН України. – 2006. – № 2. – С. 111–115.
- Семинский К. Ж., Адамович А. Н.* Значение переиндексации осей главных нормальных напряжений при структурообразовании в разломных зонах земной коры // Геодинамика и напряженное состояние недр Земли. – Новосибирск, 2004. – С. 250–256.
- Фролков Г. Д., Фролков А. Г.* К вопросу о генезисе угольного метана // Уголь. – 2005. – № 12. – С. 25–27.
- Храмов В., Любчак О.* Механізм генерації метану в поровому просторі вугілля // Геологія та геохімія горючих копалин. – 2009. – № 3–4 (148–149). – С. 44–54.

Стаття надійшла
12.05.11

**Vyacheslav LUKINOV, Lyudmila PIMONENKO,
Oleksandr BURCHAK, Lyubov KUZNETSOVA**

CONDITIONS OF FORMATION OF METHANE-BEARING COAL BEDS IN DONBAS

It is offered new hypothesis of formation the modern gas-bearing of coal beds in Donbas. According to this hypothesis coal gases are genetically related to the organic matter of bituminous coal. The formation of modern gas-bearing takes place in two stages. These two processes differ in their thermodynamic conditions: methane-producing and methane-generation.

Methane-producing is a part of general process of metamorphism of fossil organic. Methane-producing takes place mainly under the influence of thermal stream of bowels of the earth at the stage of immersion of Donets basin. Formation of gases passes parallel to structuration of coal matter. Mainly majority of gases that appeared at the first stage of development of basin is lost.

Methane-generation took place and takes place as mechanochemical reactions after the inversion of massif as a result of relaxation the free energy by the coal beds. This free energy accumulated under the influence of the static and dynamic loading that was caused by tectonic or anthropogenic action.

Volumes of gases that were generated under the mechanical influencing are considerably less than that ones formatted at the first stage. But according to the offered hypothesis the large volumes of gases are explained exactly by the fleeting processes of methane-generation. These processes accompany the sudden troop landing of coal. The change of the tense state of array also reduces to the mechanochemical reactions and generation of gases accumulating in the mine working of the closed mines.

To support offered hypothesis a series of researches directly in a mountain range and in laboratory terms was conducted. According to the test of coal layers results it is established that the complement of gases of coal layers consist of: methane (CH_4) and its homologues, and also nitrogen (N_2), carbon dioxide (CO_2), hydrogen (H_2), helium (He). Methane is a prevailing gas component in coal layers. Its maintenance hesitates within the limits of 70–99 %.

Influence of the mechanical growing shallow on composition of gases of coal standards was studied also in laboratory terms. The got data analysis showed that at growing of coal shallow the amount of methane homologues increases in 1.7–2.0 times. The maintenance of CO_2 grows substantially, that is probably related to the processes of oxidization of coal at the contact with air. Reduction of maintenance of helium should be accounted for it by the loss due to mobility.

The results of researches theoretically and experimentally prove the possibility of generation of methane and its homologues as a result of mechano-chemical reactions. Thus taking into account sizes and spatial structure of molecules, migration of heavy hydrocarbons is impossible. Consequently the presence of heavy hydrocarbons in the areas of tectonic violations or inflated layers of array is the result of exactly mechano-chemical processes in a corner.