



DOI

УДК 622.315:550.853

**Вергельська Н.В., Вергельська В.В.**

**Вергельська Н.В.**, доктор геологічних наук, Державна установа «Науковий центр гірничої геології, геоecології та розвитку інфраструктури НАН України», ORCID: 0000-0002-1440-6082, vnata09@meta.ua

**Вергельська В.В.**, Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН», ORCID: 0000-0002-6206-710X

## ТРАНСФОРМАЦІЯ ГАЗОВОЇ СКЛАДОВОЇ ПІД ЧАС ПЕРЕБІГУ ГАЗОДИНАМІЧНИХ СИТУАЦІЙ У ВУГІЛЬНИХ ШАХТАХ

Вивчення динамічних явищ значно ускладнилося, коли вугледобувна промисловість зіткнулася з масштабними проявами такого явища, як раптові викиди вугілля, що супроводжуються значним газовиділенням. Раптові динамічні явища зі збільшенням глибини відпрацювання вугільних пластів залишаються непрогнозованими, як у діючих, так і у відпрацьованих (ізолюваних) ділянках вугледобувних підприємств.

На відпрацьованих (ізолюваних) ділянках діючих шахт зафіксовано висипи вугілля та породи, викиди газу, які призводять до газодинамічних явищ і пожеж. Зважаючи на показники газової суміші, можна вважати стан масиву відносно стабільним із позитивною тенденцією до стабілізації природного газового стану, аналогічні процеси у воді відбуваються повільніше, що варто враховувати під час проведення гірничих робіт. Газ із водою може мігрувати не тільки за межі виробки, а й за межі шахти.

Усі наведені дані свідчать про сучасну газову міграцію не тільки в непорушених вуглепородних масивах, а й у відпрацьованому, технічно ізолюваному просторі, у яке гази могли мігрувати тільки вертикально, що зумовлене розташуванням виробки в масиві. На основі ізотопних і газогеохімічних досліджень метану, важких вуглеводнів, вуглекислого газу та гелію обґрунтовано та доведено полігенетичний склад природного газу у вугленосних товщах вугільних басейнів і родовищ України. Залежно від стану вуглепородного масиву газова складова частина може змінюватися в широких межах. У разі активного максимального вилучення газу у виробках піднімається велика кількість важких і ненасичених вуглеводнів, що може спровокувати газодинамічні явища. Відновлення газової суміші у вугільній виробці тривало два місяці, після проведення стабілізаційних робіт масиву.

**Ключові слова:** газодинамічній ситуації, газоносність, вуглепородний масив, газова суміш, відпрацьований простір, вугільні шахти.

**Вступ.** Питання прогнозу та запобігання раптовим динамічним явищам у вугільних шахтах, незважаючи на десятиліття досліджень, залишаються маловивченими, особливо у відпрацьованому просторі виробок. Раптові динамічні та газодинамічні явища зі збільшенням глибини відпрацювання вугільних пластів залишаються непрогнозованими як у діючих, так і у відпрацьованих (ізолюваних) ділянках вугледобувних підприємств.

У вугільних шахтах спостерігається велика різноманітність раптових динамічних явищ: суфляри, віджимання вугілля, раптове обвалення покрівлі, пучення ґрунту, висипання, стріляння, гірські удари, раптові викиди вугілля, породи та газу. На відпрацьованих (ізолюваних) ділянках діючих шахт зафіксовано висипи вугілля та породи, викиди газу, які призводять до газодинамічних явищ і пожеж.

Питанням раптових динамічних явищ присвячено велику кількість робіт дослідників різного профілю – геологів, хіміків, фізиків, астрономів, кліматологів, які за вихідні передумови приймали зовсім різні ознаки. Мала вивченість причин раптових динамічних явищ

у вугільних шахтах дозволила створити велику кількість гіпотез про їхню природу. Причини динамічних явищ розглядалися в роботах багатьох дослідників: А.Я. Радзівілла, О.М. Сукачова, Г.Д. Лідіна, В.С. Ярцева, А.І. Кравцова, Л.М. Бикова, І.М. Печука, Г.О. Конькова, В.Г. Бондарчука, О.О. Скочинського, А.І. Чередніченко, В.В. Лукінова, Л.І. Пимоненко, Д.П. Гуні [1–3] та багатьох інших. Проте це питання ще далеке від вирішення чи створення загальної теорії, яка б дозволила прогнозування раптових газодинамічних явищ. Неоднозначність визначень раптових динамічних явищ спричинила спроби за одним чи декількома чинниками обґрунтувати все або їх більшу частину.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У роботах О.М. Сукачова, А.Я. Радзівілла, В.В. Ходота, Я.А. Біча, В.С. Забігайла й інших було відзначено, що геологічні порушення, прояви магматичної діяльності, наявність у ґрунті та покрівлі міцних порід, глибина відпрацювання, потужність вугільних пластів істотно впливають на прояв газодинамічних явищ. Умови прояву раптових викидів вугілля та газу, віджимань

мають деяку схожість. Основні чинники, які їх провакуюють, – напружений стан і газова складова частина масиву [1–3].

Тоді як дослідження газодинамічних явищ у відпрацьованому просторі практично відсутні, оскільки значні аварії на таких ділянках на вуглевидобувних підприємствах України зафіксовано переважно після 2015 р. У попередніх дослідженнях Н.В. Вергельської й І.М. Скопиченка [6; 7] було визначено причини виникнення газодинамічних явищ у відпрацьованому просторі ДП ВК «Краснолиманська». Під час проведення досліджень було встановлено структурні та газогеохімічні особливості виникнення газодинамічних явищ у відпрацьованих (ізолюваних) виробках вуглепородних масивів. Натепер аналогічні ситуації зафіксовано й на інших шахтах Донецького басейну. Дослідження газодинамічних ситуацій у відпрацьованому просторі діючих шахт є актуальними.

**Мета дослідження.** Метою даної роботи було визначення часу відновлення газового стану у відпрацьованій виробці вуглепородного масиву ДП ВК «Краснолиманська» до відносно стабільного, тобто безпечного за газогеохімічними показниками.

**Методи дослідження.** В основу досліджень увійшли роботи, проведені у 2015–2016 рр. на ДП ВК «Краснолиманська». Під час робіт вивчено перебіг газодинамічного явища (далі – ГДЯ) у відпрацьованій вугільній виробці, проведено моніторинг її газового стану на підставі аналізу понад 100 газових проб із шахтної атмосфери та води. Раптові динамічні явища вуглепородних масивів визначалися за запатентованими методиками (патент № 79554 від 25 квітня 2013 р. [4], № 99540 від 10 червня 2015 р. [5]). Лабораторні дослідження проб газу (газова хроматографія) проводились у ДП «Укрнаукагеоцентр».

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Вивчення динамічних явищ значно ускладнилося, коли вугледобувна промисловість зіткнулася з масштабними проявами такого явища, як раптові викиди вугілля, що супроводжуються значними газовиділеннями. Питанню газодинамічних явищ (ГДЯ) присвячено велику кількість робіт дослідників різного профілю, які за вихідні передумови приймали різні, іноді другорядні, ознаки динамічних чи газодинамічних явищ. Наявні гіпотези ГДЯ поділяються переважно за головними чинниками, що діють у мить перебігу явища, але нерідко другорядні ознаки більш виразні, що призводить до появи нових аналогів відомих гіпотез. Зважаючи на вищесказане, всі наявні гіпотези можна поділити на чотири групи: гіпотези гірського тиску, газові гіпотези, геохімічні гіпотези та змішані.

Попередні дослідження [1–7] газодинамічних ситуацій у вугільних шахтах проводилися лише у діючих виробках, тому зміна газового стану відпрацьованої (ізолюваної) ділянки розглянута поетапно. Зважаючи на вимоги виробничого підприємства, у роботі використано авторську методику досліджень, яка базується на зміні якісних і кількісних показників

газової суміші із шахтної атмосфери та води, що дозволило встановити закономірності трансформації газових сумішей в ізолюваних виробках вуглевидобувних підприємств.

Під час газодинамічної ситуації ДП ВК «Краснолиманська» зафіксована зміна газового стану виробки від небезпечного (критично небезпечного) до можливого газового колектору у відпрацьованому просторі (табл. 1, 2). Дослідження газового стану виробки проведено в декілька етапів, які відображають його зміни під час перебігу ГДЯ. За небезпечного газодинамічного стану встановлені такі показники: метан – до 1%, ацетилен – до 0,8%, азот – більше 70% газової суміші. За отриманими результатами встановлено підвищення температури масиву до критичного та рекомендовано проведення робіт щодо стабілізації масиву. Після проведення робіт зі стабілізації масиву (один тиждень) показники змінені так: метан – до 0,86%, ацетилен – сліди (максимум до 0,00002%), азот – до 96–98%. Значну кількість азоту в газовій суміші атмосфери (табл. 1) та води із виробки (табл. 2) пов'язано з роботами зі стабілізації масиву.

Показники газової суміші після проведення робіт зі стабілізації масиву (шість тижнів) такі: метан – до 20%, етилен, ацетилен – відсутні, азот – до 70%. Такі показники газової суміші можна вважати відносно стабільними для даної виробки, оскільки вони корелюються з показниками газової суміші до початку розробки вугільного пласта, проведеної авторами у 2007 р.

Беручи до уваги показники газової суміші, можна вважати стан масиву відносно стабільним із позитивною тенденцією до стабілізації природного газового стану, аналогічні процеси у воді відбуваються повільніше, ніж у шахтній атмосфері, в інтервалі приблизно два тижні, що варто враховувати у проведенні гірничих робіт. Газ із водою може мігрувати не тільки за межі виробки у відстійник, а й за межі шахти.

Усі наведені дані свідчать про сучасну газову міграцію не тільки в неперушених вуглепородних масивах, а й у відпрацьованому, технічно ізолюваному просторі, у яке гази могли мігрувати тільки вертикально, що зумовлене розташуванням виробки в масиві. На основі ізотопних і газогеохімічних досліджень метану, важких і ненасичених вуглеводнів, вуглекислого газу та гелію обґрунтовано та доведено полігенетичний склад природного газу у вугленосних товщах вугільних басейнів України [6; 7]. Це дозволяє віднести їх до мобільних газо-гео-динамічних систем, у яких і нині відбуваються інтенсивні процеси газопереносу та міжформаційні газові зв'язки, як у вугленосних товщах, так і у вміщуючих газонасичених породах.

Отже, через два місяці після проведення робіт зі стабілізації масиву відбулося відновлення газового стану ділянки, майже ідентичне, що було визначене під час нарізання лави та на початок відпрацювання вугільного пласта.

Таблиця 1. Зміна газової складової частини у відпрацьованій вугільній виробці ДП ВК «Краснолиманська»

Table 1. Changing the gas mixture of the coal mining waste space of the SE CC “Krasnolymanska”

Sampling date Component,%	09.11.2015 Period of unpredictable sudden phenomenon	15.12.2015 Period of works on massif stabilization	18.01.2016 The period after stabilization of the massif
CH <sub>4</sub>	0,266–0,381	0,039–0,455	16,321–21, 322
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	0,006–0,010	0,002–0,011	0,198–0,245
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	Сліди	0,000	Сліди
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	0,005–0,007	0,000	Відсутній
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	0,002	0,002–0,017	0,043–0,058
i-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0,000	0,001–0,004	0,007–0,013
n-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0,001	0,002–0,017	0,006–0,012
neo-C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0,000	0,000	0–0,001
i-C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0,000	0,001–0,007	0,001–0,012
n-C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0,000	0–0,006	0,001–0,003
C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	0,005–0,014	0,004–0,026	0,003–0,016
CO <sub>2</sub>	0,620–0,770	0,092–0,140	1,087–1,368
H <sub>2</sub>	0,000	0,001	сліди
H <sub>2</sub> S	0,000	0,000	0,000
O <sub>2</sub>	19,449–21,432	6,808–20,806	6,947–8,193
N <sub>2</sub>	77,422–79,314	78,972–79,071	70,003–74,149

Таблиця 2. Зміна газової складової частини у відпрацьованій вугільній виробці, із води, ДП ВК «Краснолиманська»

Table 2. Change of the gas mixture of the production of the spent space, according to the gas content in the water of the SE CC “Krasnolymanska”

Sampling date Component,%	7 грудня 2015 р.	15 грудня 2015 р.	22 січня 2016 р.
CH <sub>4</sub>	0,012–0,053	0,402–0,497	0,010–0,019
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	0,001–0,002	0,010–0,012	0,000
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	Сліди	0,001–0,002	Відсутній
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	0,000	0,000	Відсутній
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	0,000–0,003	0,006–0,008	0,000
i-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0,000–0,001	0,001–0,002	0,000
n-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0,000–0,003	0,003–0,006	0,000
neo-C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0,000	0,000	0,000
i-C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0,000–0,002	0,001–0,002	0,001
n-C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0,000–0,001	0,001	0,000
C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	0,000–0,009	0,004–0,012	0,004
CO <sub>2</sub>	0,091–0,794	1,312–3,678	0,907–1,363
H <sub>2</sub>	0,000–0,001	0,001	0,001
H <sub>2</sub> S	0,000	0,000	0,000
O <sub>2</sub>	4,622–6,675	4,877–6,808	5,928–16,750
N <sub>2</sub>	92,456–95,274	89,075–93,198	82,327–92,684

### Висновки

1. Залежно від стану вуглепородного масиву газова складова частина може змінюватися в широких межах. У разі активного максимального вилучення газу у виробки піднімається велика кількість важких і ненасичених вуглеводнів, що може спровокувати газодинамічні явища.

2. Зважаючи на показники газової суміші, стан виробки відносно стабільний, із позитивною тенденцією до стабілізації природного газового стану, аналогічні процеси в газовій суміші води відбуваються більш повільно.

3. Відновлення газової суміші у вугільній виробці тривало два місяці, після проведення стабілізаційних робіт масиву.

### Перспективи подальших досліджень

Подальші дослідження дозволять визначити можливість використання відпрацьованого простору діючих шахт як газового колектору за постійного моніторингу газової суміші.

Визначити вплив шахтних вод на формування газового складу шахтної атмосфери та перерозподілу газу під час газодинамічних явищ у відпрацьованому просторі діючих шахт.

## Література

1. Миграция и накопление глубинного газа как один из факторов возникновения аварийных ситуаций / Б.В. Бокий и др. *Тектоника и стратиграфия*. 2013. Вып. 40. С. 49–58.
2. Pimonenko L., Vergelska N. Prediction of dynamic phenomena in coal mines. *Proceedings of the X International Geomechanics Conference 19–23 September 2022, Varna, Bulgaria*. P. 230–234.
3. Опыт определения содержания ацетилена в угольных пластах шахт Донецко-Макеевского района / А.М. Сукачев и др. Киев : ИГС, 1992. 36 с.
4. Спосіб визначення залишкової газової складової вуглепородного масиву Донбасу / А.Я. Радзівілл та ін. Патент № 79554 від 25.04.2013 р. Державна служба інтелектуальної власності України, 2013.
5. Євдошук М.І., Вергельська Н. В. Спосіб визначення зон скупчення газу у відпрацьованому просторі діючих шахт. Патент № 99540 від 10.06.2015 р. Державна служба інтелектуальної власності України, 2015
6. Вергельська Н.В. Газоносність відпрацьованого простору діючих шахт Донбасу. *Тектоніка і стратиграфія*. 2012. Вип. 39. С. 30–33.
7. Vergelska N., Skopychenko I. Formation and redistribution of gas in coal basins. *Polish journal of science*. 2019. № 22. С. 7 – 12.

## References

1. Bokiyy B.V., Gunya D.P., Pimonenko L.I., Balalayev A.K., Vergelska N.V. (2013), Migratsiya i nakopleniye glubinnogo gaza kak odin iz faktorov vozniknoveniya avariynykh situatsiy, *Tektonika i stratigrafiya*, Vyp. 40: 49–58.
2. Pimonenko L., Vergelska N. (2022), Prediction of dynamic phenomena in coal mines. *Proceedings of the X International Geomechanics Conference 19–23 September 2022, Varna, Bulgaria*, 230–234.
3. Sukachev A.M., Radzivil A.Ya., Kas'yanov V.V., Suslo A.I. (1992), Opyt opredeleniya soderzhaniya atsetilena v ugol'nykh plastakh shakht Donetsk-Makeyevskogo rayona, Kiyev : IGS, 36 p.
4. Sposib vyznachennya zalyshkovoyi hazovoyi skladovoyi vuhleporodnoho masyvu Donbasu, avtory A.Ya. Radzivil, O.M. Sukachov, N.V. Vergelska, M.Yu. Sobolyev. Patent № 79554 vid 25.04.2013. Derzhavna sluzhba intelektual'noyi vlasnosti Ukrainy, 2013.
5. Sposib vyznachennya zon skupchennya hazu u vidprats'ovanomu prostori diyuchykh shakht, avtory M.I. Yevdoshchuk, N.V. Vergelska. Patent № 99540 vid 10.06.2015. Derzhavna sluzhba intelektual'noyi vlasnosti Ukrainy, 2015.
6. Vergelska N.V. (2012), Gazonosnist' vidprats'ovanoho prostoru diyuchykh shakht Donbasu. *Tektonika i stratyhrafiya*, Vyp. 39: 30–33.
7. Vergelska N., Skopychenko I. (2019) Formation and redistribution of gas in coal basins. *Polish journal of science*, 22: 7–12.

## TRANSFORMATION OF THE GAS MIXTURE DURING GAS-DYNAMIC SITUATIONS IN COAL MINES

Vergelska N.V., Vergelska V.V.

Vergelska N.V., D. Sc. (Geology), State Institution “Scientific Center of Mining Geology, Geoecology and Infrastructure Development of National Academy of Sciences of Ukraine”, ORCID: 0000-0002-1440-6082, vnata09@meta.ua

Vergelska V.V., State Institution “The Institute of Environmental Geochemistry of National Academy of Sciences of Ukraine”, ORCID: 0000-0002-6206-710X, vvika10@meta.ua

*The study of dynamic phenomena became much more complicated when the coal mining industry encountered large-scale manifestations of such a phenomenon as sudden releases of coal, accompanied by significant gas emissions. Sudden dynamic phenomena with an increase in the depth of working out of coal seams remain unforeseeable, as well as in working out (isolated) areas of operating mines. Coal and rock spills, gas emissions, which lead to gas-dynamic phenomena and fires, have been recorded in the exhausted (isolated) areas of active mines. Taking into account the parameters of the gas mixture, the state of the massif can be considered relatively stable with a positive tendency to stabilize the natural gas state, similar processes in water occur more slowly, which should be taken into account when conducting mining operations. Gas with water can migrate not only outside the production, but also outside the mine.*

*All the given data testify to modern gas migration not only in undisturbed coal massifs, but also in the exhausted, technically isolated space, into which gases could migrate only vertically, which is due to the location of the production in the massif. On the basis of isotopic and gas-geochemical studies of methane, heavy hydrocarbons, carbon dioxide and helium, the polygenetic composition of natural gas in coal-bearing strata of coal basins and deposits of Ukraine has been substantiated and proven. Depending on the state of the coal massif, the gas component can vary widely. With active maximum gas extraction, a large amount of heavy and unsaturated hydrocarbons rises in the workings, which can provoke gas-dynamic phenomena. The restoration of the gas mixture in the coal mine lasted two months, after the massif stabilization works.*

**Key words:** gas dynamic situation, gas carrying capacity, coal massif, gas mixture, spent space, coal mines.