

УДК 551.242:622.411.332:533.17(477.61/62)

Булат А.Ф. акад. НАНУ, д-р техн. наук, профессор,
Пимоненко Л.И. д-р. геол. наук, вед. научн. сотр.,
Балалаев А.К. канд. биол. наук, ст. научн. сотр.
 (ИГТМ НАН Украины)

Бокий Б.В. д-р техн. наук,
Гуня Д.П. канд. техн. наук.
 (ПАО «Шахта им. А.Ф. Засядько»)

О ВЛИЯНИИ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА НАКОПЛЕНИЕ И МИГРАЦИЮ ГАЗОВ В УГЛЕПОРОДНОМ МАССИВЕ ДОНБАССА

Булат А.Ф. акад. НАНУ, д-р техн. наук, професор,
Пимоненко Л.И. д-р геол. наук, пров. наук. співроб.,
Балалаєв О.К. канд. біол. наук, ст. наук. співроб.
 (ИГТМ НАН Украины);

Бокій Б.В. д-р техн. наук,
Гуня Д.П. канд. техн. наук.
 (ПАТ «Шахта ім. О.Ф. Засядька»)

ПРО ВПЛИВ ГЕОДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ НА НАКОПИЧЕННЯ І МІГРАЦІЮ ГАЗІВ У ВУГЛЕПОРОДНОМУ МАСИВІ ДОНБАСУ

Bulat A.F. , Akad. NASU, D.Sc (Tech), Professor,
Pymonenko L.I. , D. Sc (Geol), Senior Researcher,
Balalayev A.K. , Ph. D (Biol.), Senior Researcher,
 (IGTM NAS of Ukraine)

Bokiy B.W., D. Sc (Tech)
Gunya D.P., Ph. D. (Tech)
 (PAS « A.F. Zasyadko mine»)

ABOUT EFFECT OF GEODYNAMIC PROCESSES ON ACCUMULATION AND MIGRATION OF GASES IN CARBONIC MASSIF OF DONBAS

Аннотация. Цель работы – исследовать влияние геодинамических процессов на накопление и сохранение газов в углепородном массиве Донбасса. Приведены данные экспериментальных исследований компонентного состава газов в конвейерном (14 проб - 6 пикетов) и вентиляционном (12 проб – 6 пикетов) ходах восточной уклонной лавы на шахте им. А.Ф. Засядько (Донецко-Макеевский район Донбасса.) Анализ полученных данных показал, что величины и состав газов в пробах, отобранных на различных пикетах в одно время отличается; при этом на одних и тех же пикетах периодически изменяется содержание в газе гелия, водорода, метана и других компонент. Приведены результаты статистической обработки данных. Проанализированы литолого-тектонические условия участка и геодинамические процессы, влияющие на регион.

Суть механизма: периодически изменяющиеся масштабные природные процессы, активируют глубинные разломы. Возникающие при этом тектонические импульсы способствуют «прокачиванию» через нарушенные зоны поровых растворов, что приводит к интенсификации взаимодействия флюидов с породами и углями массива и вовлечению в процесс газогенерации вмещающих пород. Повторяющиеся различные по величине и направлению поля напряжений способствуют многократной циркуляции газоводяных потоков в слоистой угленосной толще и, как следствие, усиливают структурные трансформации угольного вещества. Геологические условия залегания пласта влияют на локализацию компонентного состава газов.

Ключевые слова: геодинамика, состав газов, миграция газов, Донбасс.

При постоянном увеличении глубины добычи угля в Донбассе возрастает необходимость прогноза горно геологических условий ведения работ и особенно газоносности угольных пластов. Средняя глубина добычи угля в Донбассе достигла 800 м, а максимальная 1400 м. Почти 90% шахт отнесены к сверхкатегорийным по газу, одна треть разрабатывает пласты опасные по внезапным выбросам угля и газа. Только за последние десять лет отмечено более 70 взрывов и воспламенений метана.

18 ноября 2007 г. на шахте им. А.Ф. Засядько (Донецко-Макеевский район Донбасса) произошла авария - внезапный выброс метана. До последнего момента ничто не предвещало возникновения аварийной ситуации. Во всех выработках концентрация метана в воздухе находилась в пределах норм, аппаратура газового контроля была в рабочем состоянии. Все выработки полностью обеспечивались расчетным количеством воздуха. На шахте функционирует аппаратура газового контроля последнего поколения и в случае возникновения аварийных ситуаций, датчики должны были обесточить шахтное оборудование, но по неизвестной причине автоматика не сработала.

В 2010 г. произошли взрывы метана на российских шахтах «Ульяновская» и «Распадская». Взрывы произошли также при полном отсутствии предупреждающих сигналов об опасности. По экспертным оценкам причиной аварий стало внезапное повышение концентрации метана. Однако известны случаи внезапных прорывов метана и на небольших глубинах. Так, на той же шахте «Распадская» выброс метана ранее произошел на глубине 120 м, на шахте им. С.М. Кирова в Донбассе – на глубине 110 м. Эти и другие факты свидетельствуют об отсутствии какой-либо связи катастрофических явлений с глубиной.

Проанализировав весь процесс возникновения аварийной ситуации, специалисты шахты предположили, что возможной причиной аварии стало внезапное поступление метана в горные выработки из более глубоких горизонтов. Однако это предположение является весьма спорным. В настоящее время в литературных источниках преобладают две основные концепции происхождения метана в угольных бассейнах.

Согласно первой (**биогенной**) - основная масса метана угольных пластов образовалась в процессе регионального метаморфизма при погружении осадков и, частично, сохранилась в пористом объеме массива [1-2]; второй (**абиогенной**) – метан и другие газы поступили и поступают в углепородный массив зо-

нами глубинных разломов из мантии, астеносферы, фундамента. Со второй половины XX века П.Н. Кропоткин (гипотеза газового дыхания Земли), Г.Н. Долленко (термодинамическая гипотеза образования углеводородных газов (УВГ) в зонах субдукции), И.В. Гринберг (баровакуумная гипотеза), А.И. Кравцов, В.Б. Порфирьев (тектоническая), Э.Б. Чекалюк (тектоно-магматическая), А.Я. Радзивилл (биогео-абиогенная) и многие другие исследователи [3-4] интенсивно развивают представления о неорганическом синтезе УВГ. При этом ни одна из указанных концепций не имеет решающих аргументов, делающих ее единственно приемлемой, поэтому вопросы происхождения газов остаются дискуссионными. Важность и актуальность исследований газоносности угольных месторождений возрастает в связи со взрывами метана, переходом к освоению более глубоких горизонтов угольных месторождений и добычей метана закрытых шахт.

Для проведения эксперимента на шахте им. А.Ф. Засядько были выбраны выработки, проводимые для подготовки выемочного поля восточной уклонной (разгрузочной) лавы №1 пласта m_3 . Пробы угля периодически (через 2-4 месяца) отбирались на одних и тех же пикетах в конвейерном и вентиляционном ходках. В конвейерном ходке было отобрано 18 проб: ПК 60 (4), ПК70 (3), ПК110 (7), ПК 143 (2), ПК 158 и ПК 174 по 1; в вентиляционном – 14 проб: ПК 80 (3), ПК 100 (5), ПК 117 (2), ПК 131 (1), ПК 139 (1), ПК 155 (2). Из 32 проб 6 проб были отобраны при проходке. Уголь, в данном случае, выступил в роли сорбента находящихся в массиве газов. Лабораторный анализ газовой составляющей проводился в химлаборатории ПО «Укруглегеология». В газе определялось содержание He , H_2 , O_2 , N_2 , CO_2 , CH_4 , C_2H_6 , nC_7H_{16} .

Результаты анализов приведены в таблицах 1 и 2. В соответствии с методикой количество газов измерялось в $см^3$ и $см^3/г$. Так как объем проб отличался, то для сравнения и анализа полученных данных использовались результаты, полученные в $см^3/г$.

Так как состав глубинного газа существенно отличается от газа угленосных толщ, то основным подтверждением миграции газа из глубинных источников считается повышенное содержание в составе угольных газов гелия, тяжелых углеводородов, битумов, утяжеление изотопного состава углерода метана ($\delta^{13}C$ в CH_4) и углекислого газа ($\delta^{13}C$ в CO_2) (изотопный состав углерода не определялся).

Гелий – непрерывно образуется в результате распада радиоактивных элементов в докембрийских гранитных породах и минералах, вследствие большой подвижности и малой величины молекулы – легко мигрирует, поэтому его наличие в пробах газа, доказывает современный подток мантийных газов.

Водород может образоваться в результате реакций, происходящих в угольном пласте либо в близлежащих породах, также возможна его диффузия из более глубоких горизонтов.

Таблица 1 - Результаты исследования газа, полученного в результате дегазации угля, отобранного в герметические сосуды в конвейерном ходе восточной уклонной лавы пласта m₃

№ п/п	Место отбора	Дата отбора	Дата проходки	Единица измер	He	H ₂	O ₂	N ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	CO ₂	C ₃ H ₈	nC ₇ H ₁₆	Всего
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	ПК60	12.02.2008	23.06.2006	см ³ см ³ /Г	0 0	9,248 0,0191	189,62 0,391	722,24 1,4891	34,654 0,07145	6,702 0,01382	17,03 0,03511	4,178 0,00861	1,327 0,00274	985 485
2	ПК60	08.04.2008	23.06.2006	см ³ см ³ /Г	0,56	0,426 0,00084	129,36 0,254	498,81 0,978	32,097 0,063	12,224 0,024	20,78 0,041	26,732 0,052	9,566 0,0187	730 510
3	ПК60	17.08.2008	23.06.2006	см ³ см ³ /Г	0,032	0,832 0,002	159,41	647,43	0,345 0,00072	1,198 0,002	27,78 0,058	3,179 0,007	2,836 0,00591	840 480
4	ПК60	01.11.2009	23.06.2006	см ³ см ³ /Г	0	16,329 0,041	156,8	831,06	36,116 0,090	11,643 0,029	50,07 0,125	12,593 0,031	15,247 0,036	1125 400
5	ПК70	08.04.2008	23.06.2006	см ³ см ³ /Г	0,612	0,318 0,001	126,75 0,241	509,3 0,970	3,685 0,007	4,583 0,009	14,17 0,027	8,845 0,017	7,345 0,014	675 525
6	ПК70	10.06.2008	23.06.2006	см ³ см ³ /Г	1,433	0,763 0,002	54,7 0,144	359,02 0,945	241,55 0,636	106,51 0,280	10,99 0,029	31,83 0,084	15,876 0,042	840 380
7	ПК70	23.09.2008	23.06.2006	см ³ см ³ /Г	1,178	5,647 0,011	157,87	832,23	4,68 0,009	7,927 0,065	32,87 0,063	6,276 0,012	6,847 0,013	1055 525
8	ПК110	12.02.2008	22.07.2007	см ³ см ³ /Г	0,009	0,758 0,002	164,8 0,445	623,18 1,684	2,690 0,007	2,337 0,006	9,37 0,025	1,708 0,005	0,567 0,002	805 370

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
9	ПК110	08.04.2008	22.07.2007	см ³ см ³ /Г	4,515	0,239 0,0005	130,12 0,246	512,89 0,968	27,33 0,053	12,961 0,024	18,85 0,036	14,832 0,028	12,78 0,024	730 530
10	ПК110	10.06.2008	22.07.2007.	см ³ см ³ /Г	0,839	3,496 0,011	38,99 0,122	477,72 1,493	274,34 0,857	131,31 0,410	22,4 0,07	40,01 0,125	23,2 0,072	1015 320
11	ПК110	09.07.2008	22.07.2007	см ³ см ³ /Г	0	4,165 0,018	129,45 0,563	569,98 2,478	14,51 0,063	11,016 0,048	32,3 0,140	4,0097 0,017	4,245 0,018	770 230
12	ПК110	17.08.2008	22.07.2007	см ³ см ³ /Г	0,471	3,413 0,011	134,75	626,84	0,900 0,0029	1,928 0,006	28,81 0,093	9,550 0,031	12,761 0,04	815 310
13	ПК110	23.09.2008	22.07.2007	см ³ см ³ /Г	0,031	3,853 0,007	159,91	847,17	26,675 0,051	12,625 0,024	48,87 0,094	4,011 0,008	2,631 0,005	1095 520
14	ПК110	22.07.2007	22.07.2007.	см ³ см ³ /Г	0	11,08 0,025	93,49	625,7	34,22 0,076	120,05 0,267	36,94 0,082	48,35 0,107	29,727 0,067	1000 450
15	ПК143	12.02.2008	12.02.2008.	см ³ см ³ /Г	0 0	0,653 0,002	88,55 0,206	743,73 1,729	566,2 1,317	92,993 0,216	15,75 0,037	24,007 0,056	7,698 0,018	1540 430
16	ПК143	13.05.2008	12.02.2008	см ³ см ³ /Г	0	0,914 0,002	72,65 0,165	366,5 0,833	465,71 1,058	134,65 0,306	20,43 0,046	38,34 0,087	16,498 0,038	1115 440
17	ПК158	08.04.2008	04.08.2008	см ³ см ³ /Г	0 0	0,134 0,0003	80,67 0,179	552,76 1,228	348,81 0,775	138,2 0,307	32,13 0,071	29,384 0,065	15,418 0,034	1200 450
18	ПК174	10.06.2008	10.06.2008	см ³ см ³ /Г	0 0	0,583 0,001	45,16 0,092	338,85 0,691	361,85 0,740	213,2 0,436	16,26 0,033	59,71 0,122	24,056 0,049	1060 489

Таблица 2 - Результаты исследования газа, полученного в результате дегазации угля, отобранного в герметические сосуды в вентиляционном ходке восточной уклонной лавы пл. m₃

№ п/п	Место отбора пробы угля	Дата отбора пробы	Дата проходки выработки	Единица измерения	He	H ₂	O ₂	N ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈ + C ₄ H ₁₀	C ₅ H ₁₂ + C ₇ H ₁₆	CO ₂	Всего
1	ПК80	13.02.08	26.05.07	см ³ см ³ /Г	0,0 0.0	0,101 0,0002	99,93 0,2701	400,22 1,0817	49,091 0,117	12,232 0,029	7,430 0,018	0,278 0,001	8,15 0,019	890 420
2	ПК80	13.05.08	26.05.07	см ³ см ³ /Г	0,0 0.0	0,826 0,002	164,90 0,3926	644,82 1,5353	520,62 1,085	87,80 0,183	35,331 0,074	1,084 0,002	35,42 0,074	895 480
3	ПК80	10.06.08	26.05.07	см ³ см ³ /Г	0,0 0.0	1,113 0,003	26,81 0,05585	186,04 0,3667	117,45 0,317	55,15 0,149	43,124 0,116	3,145 0,008	12,11 0,033	750 370
4	ПК100	09.07.08	09.07.07	см ³ см ³ /Г	0.0 0.0	5,146 0,021	161,01	751,68	50,55 0,211	24,39 0,102	18,899 0,079	0,884 0,004	34,34 0,143	810 240
5	ПК100	17.08.08	09.07.07	см ³ см ³ /Г	1,220 0,003	1,559 0,003	104,16	472,34	0,284 0,001	4,737 0,010	19,965 0,043	1,418 0,003	26,16 0,057	715 460
6	ПК100	02.09.09	09.07.07	см ³ см ³ /Г	0,0 0.0	6,653 0,013	106,16 0,4423	570,97 2,3790	43,087 0,086	13,902 0,028	24,420 0,049	3,739 0,007	31,08 0,062	700 500
7	ПК100	23.09.08	09.07.07	см ³ см ³ /Г	0,103 0,0002	5,099 0,014	118,85	536,43	304,640 0,846	39,517 0,109	30,475 0,085	2,604 0,007	48,83 0,136	1085 360
8	ПК100	01.11.09	09.07.07	см ³ см ³ /Г	0,0 0.0	19,419 0,048	112,53	550,41	8,83 0,022	16,140 0,040	30,535 0,076	4,937 0,012	33,56 0,084	1020 400
9	ПК117 + 3,7	13.02.08	13.02.08	см ³ см ³ /Г	0,0 0.0	3,988 0,009	99,56	654,77	785,82 1,746	151,110 0,336	31,745 0,070	1,439 0,003	24,23 0,054	1300 450
10	ПК117	13.05.08	13.02.08	см ³ см ³ /Г	0,0 0.0	2,116 0,004	43,57 0,0968	258,10 0,5735	124,03 0,243	42,57 0,083	27,347 0,054	1,001 0,002	27,64 0,052	635 510
11	ПК131	09.07.08		см ³ см ³ /Г	0.0 0.0	3,423 0,014	64,88 0,1272	348,20 0,6827	19,31 0,077	25,311 0,101	12,908 0,052	0,924 0,004	27,90 0,112	820 250
12	ПК139 + 6,5	13.05.08	13.05.08	см ³ см ³ /Г	0,0 0.0	1,387 0,004	123,35 0,4934	600,47 2,4019	14,42 0,034	18,177 0,047	14,974 0,038	0,592 0,002	20,65 0,053	585 390
13	ПК155+ 2,6 (забой)	09.07.08	09.07.08	см ³ см ³ /Г	0.0 0.0	6,682 0,027	94,33 0,2419	420,18 1,0774	655,70 2,623	120,31 0,481	29,259 0,117	0,857 0,003	31,49 0,126	1230 250
14	ПК155 + 2,6	17.08.08	09.07.08	см ³ см ³ /Г	0.0 0.0	4,054 0,012	64,77 0,2591	326,93 1,3077	1,312 0,004	21,88 0,066	17,235 0,052	1,261 0,004	23,23 0,070	775 330

Анализ полученных результатов показал:

1) величины и состав газов в пробах, отобранных на различных пикетах в одно время отличается, что может быть связано с изменчивостью в составе и структуре угля и вмещающих пород;

2) на одних и тех же пикетах периодически отмечается повышенное содержание в газе гелия, водорода, метана и других газов. Колебания содержания более тяжелых углеводородов незначительны.

Предполагая возможное влияние различных скоростей воздушных потоков на интенсивность выветривания газов из углей, было проведено тестирование проб из вентиляционного и конвейерного ходков. Достоверности отличий средних значений двух независимых выборок осуществлялось на основе параметрического t -критерия Стьюдента и непараметрического рангового U -критерия Манна-Уитни. Параметрический тест не обнаружил достоверных различий ни по одному газовому параметру при стандартном уровне значимости $p < 0,05$. Ранговый тест зафиксировал достоверное различие распределения только данных выхода гелия и их внутригрупповых средних значений на уровне значимости близком к критическому ($p < 0,044$).

Полученный результат с одной стороны означает, что отличия в скоростях воздушных потоках в двух местах отбора проб приводят лишь к слабому изменению содержания в угле гелия – наиболее подвижного газа из всей исследуемой базы.

С другой стороны, для дальнейшего анализа и поиска эмпирических зависимостей весь массив данных можно использовать как выборку из единой генеральной совокупности. Статистический анализ показал, что большинство концентраций газов не имеют нормального распределения, поэтому для выяснения силы связи между показателями необходимо опираться на меры сходства рангов инвариантных к виду функции распределения случайной величины. Приведенные достоверные коэффициенты корреляции Спирмена показывают наличие отрицательной связи между гелием и метаном с этаном, высокой корреляции между ними и пропаном, а также негативной связи с кислородом (табл. 3).

Проведенный агломеративный кластерный анализ всего массива стандартизованных данных методом Уорда с квадратичной Евклидовой метрикой выявил иерархию взаимоотношений признаков (рис. 1). В зависимости от места «разрезания» дендрограммы можно выделить 4 (крупный пунктир) или 9 (мелкий пунктир) обособленных кластеров с различной степенью детализации.

При 22% относительного расстояния внутри кластеров проявляются те же закономерности полученные методом главных компонент с той лишь разницей, что содержание гелия объединяется с выходом летучих веществ. Эти два показателя, вероятно, связаны с какими-то общими механизмами миграции флюидов в углях. В тоже время более подробная агломерация выделяет данные выхода летучих веществ в отдельный кластер.

Независимое поведение гелия можно объяснить в первую очередь его инертностью, высокой проникающей способностью и низкой адсорбцией в углях. Эта компонента отражает влияние экзогенных по отношению к угольному

пласту факторов, связанных с изменением проницаемости нижежащих горных пород.

Таблица 3 - Коэффициенты ранговой корреляции Спирмена угольных газов

Газы	He	H ₂	O ₂	N ₂	CO ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	ΣC ₄₋₇ H _x
He	1.00								
H ₂	-0.31	1.00							
O ₂	0.00	0.37	1.00						
N ₂	0.00	0.45	0.79	1.00					
CO ₂	-0.18	0.70	0.33	0.50	1.00				
CH ₄	-0.40	-0.02	-0.55	-0.28	0.05	1.00			
C ₂ H ₆	-0.43	0.08	-0.57	-0.29	0.14	0.86	1.00		
C ₃ H ₈	-0.24	0.10	-0.54	-0.29	0.16	0.73	0.88	1.00	
ΣC ₄₋₇ H _x	-0.05	0.32	-0.28	-0.08	0.26	0.33	0.55	0.77	1.00

Примечание: жирным шрифтом выделены коэффициенты, достоверные на уровне значимости $p < 0,05$.

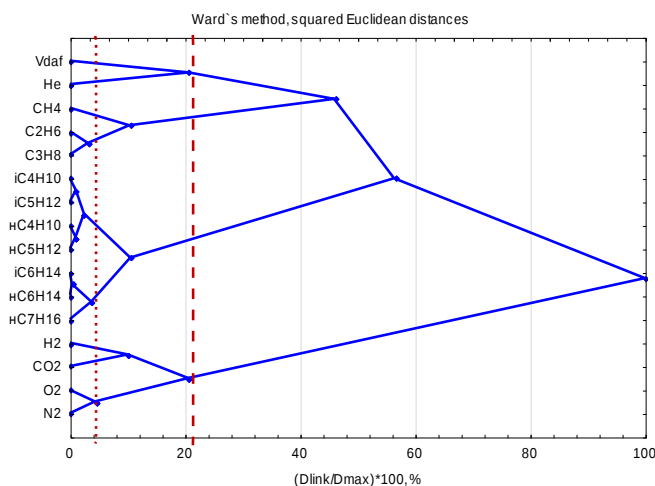


Рисунок 1 - Дендрограмма взаимосвязи угольных флюидов

Для изучения, важного с практической точки зрения, вопроса о взаимосвязи регистрируемых фактов выхода гелия и эмиссии метана и его гомологов банк данных был разделен на две неравные группы по признаку наличия (21 проба) и отсутствия (12 проб) гелия в образцах. Непараметрический тест по описанной выше методике показал достоверные различия средних значений для метана $211 \pm 348,7 < 516,5 \pm 698,9$ см³/кг и этана $76,8 \pm 131,5 < 164,1 \pm 141,9$ см³/кг при уровнях значимости $p < 0,01$.

Полученные результаты были подтверждены альтернативным критерием Колмогорова-Смирнова.

Таким образом, наличие гелия сопряжено с объективным снижением содержания метана и этана. Анализ содержания гелия и водорода в составе газов показал эпизодичность появления их в пробах. При этом моменты появления всплесков гелия и водорода не совпадают (см. табл 1,2), что может свидетельствовать о различных источниках их поступления: гелий из глубинных источников (но происхождение можно установить только по изотопному составу); водород – прямо не связан с другими газами. Его появление может быть связано с химическими реакциями, происходящими в близлежащих породах либо

различными скоростями миграции и(или) адсорбции.

Для уточнения природы газов необходимы дополнительные исследования: одновременно с анализом состава газа необходимо проводить определение состава угольного вещества и его структуры на молекулярном и надмолекулярном уровнях и определение изотопного соотношения углерода).

Имея в виду, что передвижение тяжелых углеводородов (ТУ), обладающих сложной молекулярной структурой и большими размерами, по трещинно-поровым каналам маловероятно, можно предположить, что изменение содержания ТУ в является результатом одного из путей синтеза глубинных более легких и подвижных соединений, например, метана (по схеме $\text{CH}_4 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_6 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_4 \dots \rightarrow \dots \text{C}_n\text{H}_m$). Другой путь может быть связан с разложением алифатических цепей органических молекул.

Таким образом, полученные результаты статистического анализа данных газоносности углей показали сложность и многогранность процессов генерации, накопления и миграции различных газов в угольном веществе.

Генезис метана, поступающего в больших количествах в выработки вызывает еще больше вопросов и, очевидно, что имеющихся данных для однозначного вывода о генезисе углеводородных газов недостаточно.

Исходя из того, что одним из вариантов поступления метана в массив может быть подток из глубоких горизонтов, рассмотрим литолого-тектоническое строение участка и геодинамические условия региона.

На поле лавы пласт m_3 имеет сложное 2 – 3 пачечное строение, мощность изменяется от 0,6 до 1,7 м, зольность – 3,9-10,2 %, сернистость – 2,0 – 2,6 %; выход летучих 28 – 32%. Кровля пласта представлена легкообрушаемыми аргиллитами (10 – 17 м) и алевролитами (2 – 8 м); почва – склонными к пучению алевролитами (3 – 15 м), песчаником. Для пласта характерны частые размывы и раздувы. В центральной части лавы находится синклинальная локальная складка амплитудой около 40 м; малоамплитудные разрывные нарушения отсутствуют. Трещины кливажа простираются в пласте с севера на юг (перпендикулярно к линии забоя), за счет этого и при отработке происходит значительное трещинообразование.

Сложное строение пласта, марочный состав и его тектонические особенности увеличивают способность угольного пласта к разрушению (аналогичные угольные пласты являются более опасными по выбросам и интенсивность выбросов в них выше). Литологически различные слои и прослойки в кровле и почве пласта отличаются физико-механическими свойствами, что обуславливает формирование индивидуальных деформационных условий в каждом из них и увеличивает неравновесность термодинамической системы в массиве, что ведет к образованию избыточной свободной энергии, превышающей в десятки и сотни раз ее фоновые значения, которые активизируют структурные трансформации и газогенерацию в органическом веществе. Кроме того, в пластах песчаников, аргиллитов, алевролитов содержатся вещества, которые могут служить катализаторами процессов газогенерации [10].

Все суфляры на этом пласте (шахты: им. К.И. Поченкова, «Панфиловская»,

«Пролетарская – Глубокая», «Чайкино», «Советская», им. А.Ф. Засядько) происходили из почвы пласта и, по мнению геологов, газ поступал по трещинам из песчаника m_2SM_3 , расположенного ниже пласта m_3 ; на шахте им. К.И. Поченкова этот пласт является выбросоопасным. Песчаник относится к прибрежно-морским, мощность его от 15 до 20 м, сверху и снизу он ограничен прослоями аргиллита (мощностью от 1,5 до 3,2 м) и углей (соответственно 1,83 и 0,5 м), являющихся достаточно газонепроницаемыми. Эти региональные литологические условия способствовали сохранению метана в песчанике. Периодические подвижки по глубинным разломам и интенсивные горные работы увеличили нарушенность и изменили газодинамическое состояние массива, что могло привести к внезапному выбросу метана.

Геодинамика региона также не противоречит высказанному предположению. Поле шахты расположено в пределах сложнейшего тектонического узла. В региональном тектоническом плане поле шахты им. А.Ф. Засядько находится в пределах тектонического блока, ограниченного крупными структурами различных типов: на юге - субширотный Мушкетовский надвиг, на западе и востоке - соответственно Ветковская и Чайкинская флексуры, на севере – Кальмиус-Торецкая котловина. Здесь, по данным геофизических исследований [5], находится зона пересечения глубинных разломов четырех направлений: Мушкетовского (субширотного), Славянского (субмеридионального) и двух диагональных. Исходя из того, что зоны глубинных разломов имеют сложное строение и активизация их происходит не одновременно, то говорить о миграции газов по нарушенным зонам и глубинным разломам нужно не в общем, а только базируясь на определенных фактах:

1. В этой зоне максимальная для Донбасса активность современных движений (размах вертикальных современных движений > 5 мм/год) [6], к которой, по данным О.В. Усенко [7], также приурочена тепловая аномалия – 75 – 86 мВт/м².

2. А. В. Поливцев [8], анализируя потоки газов по геологическим профилям, расположенным в различных районах, на примере профиля Волноваха - Донецк – Луганск отметил, что наибольшие аномалии сосредоточены над зонами влияния крупноамплитудных нарушений, приуроченных к глубинным разломам (Южно- и Северо-Донецким), меньшие - к Мушкетовскому и минимальные к Центральному и Лутугинскому. Различия в величине аномалий автор объяснил особенностями напряженного состояния нарушений, отличиями их генезиса и путей миграции газов.

3. Известно, что глубинные разломы, пересекают практически всю Украину с севера на юг и с запада на восток. Это позволяет предположить взаимосвязь времени интенсивификации поступлений газов в массив, и особенно гелия, с землетрясениями, происходившими в в 2008 году в Черноморском (66 землетрясений) и Карпатском (92 землетрясения) регионах (табл. 4) [9].

Необходимо отметить, что на первый взгляд точного совпадения между данными нет, но, во-первых, газовый пробоотбор проводился не каждый день, во-вторых, землетрясения не одноактный процесс, в-третьих отклик осадочной

толщи бассейна на порядок слабее, чем кристаллических пород.

Таблица 4 - Связь максимальных притоков газов с сейсмическими процессами

Дата интенсивного поступлений газов	Газы	Землетрясения в Крымском регионе	Землетрясения в Карпатском регионе
12 и 13.02.08	Метан, этан	08.02.08.	09.-14.02.08.
08.04.08	Гелий	04.04.08.	07.04.08.
13.05.08.	Метан, этан	07.05.08.	08.05.08.
10.06.08.	Гелий, метан, этан	15.06.08.	08.06.08.
09.07.08.	Метан, этан, углекислый газ	04.07.08.	03.07.08.
17.08.08.	Гелий	09.08.08.	14 и 17.08.08.
23.09.08	Гелий, метан, этан, водород, углекислый газ	18-24.09.08.	19.09.08.

Так например, землетрясение 07.05.2008 (ощущалось в Украине, Болгарии, Молдове, Румынии) но 04. 07. 2008 г. зарегистрирован афтершок этого землетрясения с энергетическим классом $K_{II}=9.7$. Поэтому логично предположить, что повышенные поступления газа могли происходить с определенным временным шагом (3 – 4 дня) после землетрясений. К тому же блоковое строение как Украинского щита, так и Донбасса столь сложное, что предсказать направления и время активизаций на данном уровне знаний невозможно.

Таким образом, совокупность литолого-тектонических данных и геодинамических условий региона [10] позволяет предположить, что периодически изменяющиеся масштабные природные процессы, активируют глубинные разломы, роль которых в процессе газогенерации может быть двойкой. С одной стороны тектонические импульсы способствуют «прокачиванию» через зоны разуплотнения поровых растворов, что приводит к активизации процессов взаимодействия флюидов с породами и углями и вовлечению в процесс газогенерации вмещающих пород. Породы обладают большей пористостью, а, следовательно, и способностью сохранять метан, кроме того, они содержат рассеянное органическое вещество, которое также участвует в процессе генерации метана. По нарушенным зонам проходит миграция глубинного газа (гелия или метана) через неоднородный массив к поверхности Земли, и если на пути такого миграционного потока существуют условия для его накопления (нарушенная зона, пористый песчаник или выработка), то при малой интенсивности движений происходит накопление метана, при больших - выброс.

С другой стороны, под воздействием механических нагрузок в условиях низких температур происходит изменение молекулярной структуры и химического состава отложений за счет химических, механохимических, электрохимических и физико-химических процессов [10-11]. Структурные трансформации, в угольном веществе могут проходить в двух направлениях – деструкция алифатической составляющей угольного вещества и поликонденсация ароматической составляющей [11-12]. Деструкция протекает с преобразованием макромолекул угольного вещества в более простые молекулярные соединения и накоплением продуктов реакций, устойчивых в данной термодинамической ситуации. Одним из таких устойчивых углеводородных компонентов [12] являет-

ся метан. Повторяющиеся различные по величине и направлению поля напряжений способствуют многократной циркуляции газоводяных потоков в слоистой угленосной толще и, как следствие, усилению структурных трансформаций угольного вещества. Геологические условия залегания пласта влияют на локализацию компонентного состава газов.

Результаты проведенных экспериментальных исследований и геологостатистического анализа состава газов отражают сложность и многофакторность процессов генерации, накопления и миграции различных газов в угольном веществе. Однако их явно недостаточно, для окончательных выводов. Необходимы разносторонние фундаментальные исследования генезиса газов, поступающих в атмосферу шахты, включающие периодические, или даже непрерывные наблюдения (мониторинг), за компонентным составом газа, определение изотопного соотношения углерода и гелия, проведение исследований элементного состава, молекулярного строения и сорбционных способностей углей как потенциального источника и накопителя газов.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Забига́йло, В.Е. Проблемы геологии газов угольных месторождений / В.Е. Забига́йло, А.З. Широков. – К.: Наукова думка, 1972. – 172 с.
2. Лидин, Г. Д. Зональное распределение природных газов в Донбассе / Г.Д. Лидин // Изв. АН СССР. – 1944. – № 6. – С. 337 – 345.
3. Доленко, Г.Н. К проблеме эндогенного происхождения нефти и газа / Г.Н. Доленко // Геология и геохимия горючих ископаемых. – 1988. – №71 – С.1 – 8
4. Етапи утворення вуглецевих формацій в геологічних структурах України / А.Я. Радзівілл, В.Ф. Шульга, А.В. Іванова, С.О. Мачуліна [та ін.]. – К: LAT & K, 2012. – 213 с.
5. Бородулин, М.И. Система глубинных разломов по данным глубинного сейсмического зондирования / М.И. Бородулин // Геологический журнал. – 1976. – № 5. – С. 88-96.
6. Лукинов, В.В. Тектоника метаноугольных месторождений Донбасса / В.В. Лукинов, Л.И. Пимоненко. – К.: Наукова думка, 2008. – 350 с.
7. Усенко, О.В. Тепловой поток: современная активизация Донецкого бассейна (по новым данным) / О.В. Усенко // Геофизический журнал. – 2002. - №5 – С. 102 – 100
8. Полівцев, А.В. Наземні геохімічні методи в геодинамічному районуванні вугільних родовищ / А.В. Полівцев // Геотехнічна механіка: Межвідомчий збірник наук. праць / ІГТМ НАН України. – Дніпропетровськ, 1998. – Вып. 10. – С. 98–104.
9. Сейсмологический бюллетень Украины за 2008 год. – Севастополь: Экокси-Гидрофизика, 2010. – С. 23–58.
10. Тектоно-геохимическая гипотеза образования выбросоопасных зон/ В.В. Лукинов, Л.И. Пимоненко, Д.А. Суворов, А.В. Бурчак // Доповіді НАН України. – 2010. – № 2. - С.114 - 118
11. Влияние тектоно-сейсмических процессов на образование и накопление углеводородов / Черский, Н.А., Царев В.П., Сорока Т.И., Кузнецов О.Л. - Новосибирск: Наука.- 1985.-260 с.
12. Саранчук, В.И. Надмолекулярная организация, структура и свойства угля / В.И. Саранчук, А.Т. Айруни, К.Е. Ковалев. – К.: Наукова думка, 1988.- 192 с.

REFERENCES

1. Zabigaylo, W.E. and Shirokov, A.Z. (1972), *Problemy geologii gaziv ugolnykh mestorozhdeniy* [Problems of geology of gases of coal deposits], Naukova dumka, Kiev, SU.
2. Lidin, G. D. (1944), «Zonal distributing of natural gases in Donbass», *Izvestiya AN of USSR*, no. 6, pp. 337 – 345.
3. Dolenko, G.N. (1988), «To the problem of endogenous origin of oil and gas», *Geology and geochemistry of combustible minerals*, no. 71, pp.1 – 8.
4. Radzivill, A.Y. , Shulga, V.F., A.V. Ivanova, A.V. and Machulina, S.O. (2012), *Etapy utvorenniya vugletsevykh formatsii v gtologichnikh strukturakh ukrainy* [Stages of formation of carbon structures in the geological structures of Ukraine], LAT & K, Kiev, UA.

5. Borodulin, M.I. (1976), «System of the deep breaking a secret from data of the deep seismic sounding», *Geological magazine*, no. 5, pp. 88-96.
6. Lukinov, W. W. (2008), *Tektonika metanougolnikh mestorozhdeniy Donbassa* [Tectonics of methane-coal deposits of Donbass], Naukova dumka, Kiev, UA.
7. Usenko, O.V. (2002), «Thermal stream: modern activation of the Donetsk pool (from new data)», *Geophysical magazine*, no. 5, pp. 102 – 100.
8. Polivcev, A.W. (1998), «Nazemni geochemical methods of in geodinamiks districting of coal deposits», *Geo-technical Mechanics*, no. 10, pp. 98–104.
9. *Seysmologicheskiiy byulleten Ukrainy za 2008 god* [Seismological bulletin of Ukraine for 2008], Ekosi-gidrografika, Sevastopol, UA.
10. Lukinov, W. W., Pymonenko, L.I., Suvorov, D.A. and Burchak, A.W. (2010), «Tektoniks-geochemical hypothesis of formation of outburst zone», *Dopovidi NAS of Ukraine*, , no. 2, pp. 114 - 118
11. Cherskiy, N.A., Carev, W.P., Soroka, T.I. and Kuznetsov, O.L. (1985), *Vliyaniye tektono-stysmicheskikh processov na obrazovaniye i nakopleniye uglevodorodov* [Influence of tektono-seismic processes on education and accumulation of hydrocarbons], Science, Novosibirsk, SU.
12. Saranchuk, W.I., Ayruni, A.T. and Kovalev, K.E. (1988), *Nadmolekulyarnaya organizatsiya, struktura i svoystva uglja* [Over-molecular organization, structure and properties of coal], Naukova dumka, Kiev, SU.

Об авторах

Булат Анатолий Федорович, академик Национальной академии наук Украины, доктор технических наук, профессор, директор института, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАНУ), Днепропетровск, Украина, igtmnanu@yandex.ru

Пимоненко Людмила Ивановна, доктор геологических наук, старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник в отделе геологии угольных месторождений на больших глубинах, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАНУ), Днепропетровск, Украина, gvrvg@meta.ua

Балалаев Александр Константинович, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, старший научный сотрудник в отделе геологии угольных месторождений на больших глубинах, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАНУ), Днепропетровск, Украина

Бокий Борис Всеволодович, доктор технических наук, зам. генерального директора ПАО «Шахта им. А.Ф. Засядько», г. Донецк

Гуня Дмитрий Петрович, кандидат технических наук, технический директор ПАО «Шахта им. А.Ф. Засядько», г. Донецк

About the authors

Bulat Anatoly Fedorovich, Academician of the National Academy of Sciences of Ukraine, Doctor of Technical Sciences (D.Sc.), Professor, Director of the Institute, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, igtmnanu@yandex.ru

Pymonenko Lyudmila Ivanovna, Doctor of Geology (D.Sc), Senior Researcher, Principal Researcher in the Department of Geology of Coal Fields at Great Depths, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, gvrvg@meta.ua

Balalayev Alexander Konstantinovich, Candidate of Biology (Ph. D), Senior Researcher, Senior Researcher in the Department of Geology of Coal Fields at Great Depths, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine

Bokiy Boris Vsevolodovich, Doctor of Technical Sciences (D.Sc.), Deputy Director General of PAS «A.F. Zasyadko mine», Donetsk

Gunya Dmitry Petrovich, Candidate of Technical Sciences (Ph. D), Technical Director of PAS «A.F. Zasyadko mine», Donetsk

Анотація. Мета роботи – дослідити вплив геодинамічних процесів на накопичення і збереження газів у вуглепородному масиві Донбасу. Приведені дані експериментальних досліджень компонентного складу газів в конвеєрному (14 проб - 6 пікетів) і вентиляційному

(12 проб – 6 пікетів) ходках східної ухильної лави на шахті ім. О.Ф. Засядька (Донецько-Макіївський район Донбасу.) Відзначено: 1) величини і склад газів в пробах, відібраних на різних пікетах в один час відрізняються; 2) на одних і тих же пікетах періодично змінюється вміст в газі гелію, водню, метану і інших газів, 3) коливання кількості важких вуглеводнів незначні. Приведені результати статистичної обробки вимірювань. Проаналізовані литолого-тектонічні дані ділянки і геодинаміка регіону. Висловлено припущення, що час найбільших надходжень газів в масив, і особливо гелію, взаємозв'язаний із землетрусами, що відбувалися в 2008 році в Чорноморському і Карпатському регіонах. Суть механізму накопичення газів у вуглепородном масиві: періодичні масштабні природні процеси активують глибинні розломи. Тектонічні імпульси, які виникають при цьому, сприяють «прокачуванню» через порушені зони порових розчинів, що приводить до інтенсифікації взаємодії флюїдів з породами і вугіллям і залучення до процесу газогенерації вміщуючих порід. Під впливом механічних навантажень в умовах низьких температур відбувається зміна молекулярної структури і хімічного складу відкладів за рахунок хімічних, механохімічних, електрохімічних і фізико-хімічних процесів. Різні, за величиною і напрямом поля напруги, повторюючись сприяють багатократній циркуляції газоводяних потоків в шаруватій вугленосній товщі і посиленню структурних трансформацій вугільної речовини. Наслідком цих процесів є утворення скупчень метану.

Ключові слова: геодинаміка, вміст газів, міграція газів, Донбас.

Abstract. Purpose of the research was to study influence of geodynamic processes on gas accumulation and migration in the Donbass coal-rock massif. Experimental findings on component composition of gases in the conveyor passway (14 samples - 6 survey stakes) and ventilation passway (12 samples - 6 survey stakes) in the eastern inclined longwall face at A.F. Zasjadko Mine (Donetsk and Makeevka regions of Donbas) are presented. Analysis of the findings shows that volume and composition of gases in the samples taken simultaneously from different stakes, differ from each other; more over, content of helium, hydrogen, methane and other components in the same stakes are periodically changed. Results of statistical data processing are presented. Lithologic and tectonic conditions of the area and geodynamic processes impacting on the region were analyzed.

An assumption has been made that duration of intensification of gas, helium in particular, ingress into the rock mass is connected with the earthquakes happened in the Black Sea and Carpathian regions in 2008 year. Essence of the mechanism is that periodically changed global natural processes activate deep fracturing causing tectonic impulses which promote seepage of pore fluids through the fractured zones and intensify interaction of the fluids with the rocks and coals of the massif and involve adjoining rocks into the gas-generation process. Repetitive stress fields differed by their volume and direction promote multiple circulation of gas-water streams in the stratified coal-contained thickness and, consequently, intensify structural transformations of the coal substance. Geological conditions of the coal bedding impact on localization of component composition of gases.

Keywords: geodynamics, composition of gases, gas migration, Donbass.

Стаття поступила в редакцію 1.10.2014

Рекомендовано к печати д-ром геол. наук К.А. Безручко

УДК 622.451:658.512.007

Бунько Т.В., д-р техн. наук, ст. научн. сотр.,
Кокоулин И.Е., канд. техн. наук, ст. научн. сотр.
(ИГТМ НАН Украины)

Жалилов А.Ш., инженер
(ГП «Селидовуголь»)

Бокий А.Б., аспирант
(ГВУЗ «ДонНТУ»)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДА РАСЧЕТА КОНЦЕНТРАЦИЙ МЕТАНА ПО СЕТИ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК, ВКЛЮЧАЮЩИХ РАССРЕДОТОЧЕННЫЕ ИСТОЧНИКИ МЕТАНОВЫДЕЛЕНИЯ

Бунько Т.В., д-р техн. наук, ст. наук. співр.,
Кокоулін І.Є., канд. техн. наук, ст. наук. співр.
(ІГТМ НАН України)

Жалілов А.Ш., інженер
(ДП «Селідоввугілля»)

Бокій О.Б., аспірант
(ДВУЗ «ДонНТУ»)

ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ РОЗРАХУНКУ КОНЦЕНТРАЦІЙ МЕТАНУ ПО МЕРЕЖІ ГІРСЬКИХ ВИРОБОК, ЯКІ ВКЛЮЧАЮТЬ РОЗОСЕРЕДЖЕНІ ДЖЕРЕЛА МЕТАНОВИДЕЛЕННЯ

Bunko T.V., D. Sc. (Tech.), Senior Researcher,
Kokoulin I.Ye., Ph. D. (Tech.), Senior Researcher
(IGTM NAS of Ukraine)

Zhalilov A.Sh. M.S (Tech.)
(SE «Selidovugol»)

Bokiy A.B., Doctoral Student
(SHEE «DNTU»)

IMPROVED METHOD FOR COMPUTING METHANE CONCENTRATIONS ALONG THE TUNNEL NETWORK CONTAINING DISPERSED METHANE-RELEASING SOURCES

Аннотация. Рассмотрены особенности функционирования шахтных вентиляционных систем, содержащих кластеры типа «выработанное пространство» с разностепенными законами движения воздуха в пределах каждого кластера. Предложены методы определения путей миграции метановоздушной смеси от границ кластера «выработанное пространство» на земную поверхность, расчета времени загазирования выработок, расположенных на этих путях, расчета концентраций метановоздушной смеси в них и метод распараллеливания расчетов воздухораспределения в шахтной вентиляционной сети методом поузловых невязок с учетом различного дебита метана, поступающего в горные выработки из кластера «выработанное пространство». Предложенная схема решения задач оценки состояния шахтной вентиляционной системы с учетом поступления в нее метана из кластера «выработанное про-