



KAPITEL 9 / CHAPTER 9⁹

THERMAL DESTRUCTION OF COALS, METAMORPHISM OF COAL SEAMS AND THEIR HAZARDOUS PROPERTIES

DOI: 10.30890/2709-2313.2022-10-02-010

Вступ

До цього часу кардинально не вирішено проблем, пов'язаних із проявом небезпечних властивостей вугільних шахтопластів під час гірничих робіт. Про це свідчать аварії, що не припиняються і періодично повторюються на вугільних підприємствах, які пов'язані зі спалахами і вибухами газу в гірничих виробках, раптовими викидами вугілля й газу в очисних і підготовчих вибоях, виникненням вогнищ самозаймання вугілля та деякими іншими проявами небезпечних властивостей. У зв'язку з такою ситуацією науково-дослідні роботи, спрямовані на вдосконалення нормативної бази з безпечного ведення гірничих робіт є актуальними для промисловості всіх вуглевидобувних країн світу.

Прояв небезпечних властивостей шахтопластів під час гірничих робіт багато в чому визначаються елементним складом та властивостями вугілля, які пов'язані з метаморфічними перетвореннями шахтопластів.

Згідно з офіційно прийнятим визначенням [1] під метаморфізмом мається на увазі перетворення бурого вугілля послідовно на кам'яне вугілля та антрацит в результаті зміни хімічного складу, структури та фізичних властивостей вугілля в надрах Землі переважно під впливом підвищеного тиску та температури.

У загальному випадку такі перетворення відносяться не тільки до вугільних шахтопластів, але і до всіх метаморфічних порід. Вони полягають у зміні мінерального складу або розміру та структури агрегатів зерен, без істотної зміни хімічного складу (за винятком вмісту H_2O та CO_2) під впливом флюїдів, температури та тиску [2].

9.1. Метаморфізм викопного вугілля та небезпечні властивості шахтопластів

Метаморфічні гірські породи утворилися внаслідок перетворення магматичних або осадових порід під впливом високого тиску, температури та горючих газо-водних розчинів. Як фізичні тіла характеризуються щільними, пружними, міцнісними, тепловими, електричними, магнітними, радіаційними та іншими властивостями, які в першу чергу залежать від їхнього мінерального складу та макробудови (структурно-текстурна ознака) [3].

У нормативних документах України щодо безпечного ведення гірничих робіт в якості основного показника метаморфічних перетворень шахтопластів використовується вихід летких речовин (V^{daf}) при термічному розкладанні вугілля без доступу повітря [4-8]. У свій час показник V^{daf} був розроблений при

⁹Authors: Antoshchenko Mykola, Brozhko Rostyslav, Filatiev Mykhailo, Filatieva Elvira, Rudniev Yevhen



складанні геолого-вуглехімічної карти Донецького басейну [9], а потім у комплексі з іншими показниками був успішно використаний при розробці сучасної промислової класифікації вугілля за генетичними та технологічними параметрами [10]. В геологічній карті [9], як і в більшості нормативних документах [4-8], показник V^{daf} прийнятий як основний і єдиний критерій показника ступеня метаморфічних перетворень шахтопластів. Відповідно до методів визначення масового та об'ємного виходу летких речовин при термічній деструкції [11-13] ці показники, враховуючи методи їх визначення, не можуть безпосередньо та одночасно характеризувати зміну елементного складу та властивостей вугілля у процесі метаморфічних перетворень шахтопластів. Крім цього, метаморфізм і термічне розкладання є різними стадіями їх перетворення. Кількісний та якісний склад летких речовин, що утворюються, при термічному розкладанні не має прямого відношення до метаморфічних процесів, які відбувалися раніше в природних умовах, при яких вже була видалена частина газоподібних продуктів. Термічна деструкція є наслідком нового (чергового) штучного етапу перетворення вихідної органічної речовини, піднятої на земну поверхню [14].

На думку авторів геолого-вуглехімічної карти [9] показник виходу летких речовин є лише приблизним показником метаморфічних перетворень шахтопластів. Ними ж виявлено недоліки V^{daf} як показника метаморфізму. До них відносяться різноманітність споживчих якостей при одному ступені метаморфізму (значенні V^{daf}). Це явище пояснювалося різною окисленістю вихідної рослинної речовини. Було встановлено, що при рівному виході летких речовин вугілля з меншим вмістом кисню відрізняються вищою спекаемістю, розчинністю у вуглеводнях та теплотою згоряння.

Поряд із терміном «окисленість» було введено термін «відновленість». Відмінності між відновленим та маловідновленим вугіллям розглядалися як генетичні відмінності в типі вугілля:

- тип а - вугілля маловідновлене;
- тип б - проміжне;
- тип в - відновлене;
- тип вв - дуже відновлене.

Чіткі межі між різними типами вугілля встановлені не були. Вважалося, що мінеральна частина вугілля також знаходиться у зв'язку зі складом і властивостями органічної маси. Вугілля з меншим вмістом кисню і більш високою спекаемістю, як правило, відрізнялося вищим вмістом сірки та переважанням у складі золи основних оксидів ($Fe_2O_3 + CaO + MgO$), головним чином заліза. Виходячи з незначної тісноти кореляційного зв'язку між вмістом загальної сірки S_t^d та сумою зазначених оксидів (рис. 1), такий висновок не є достатньо обґрунтованим. Для аналізованої вибірки (41 шахтопласт) загальний вміст сірки перебував у діапазоні від 0,90 до 5,52%. При середньоквадратичному відхиленні 1,05% та дотриманні правила «трьох сигм» з високою ймовірністю значення загальної сірки для окремих шахтопластів можуть перебувати у вказаному діапазоні за будь-якого значення $\Sigma Fe_2O_3, CaO, MgO$. Це свідчить про



випадковий характер вмісту загальної сірки у вугіллі окремих шахтопластів.

Використовуючи в якості показника метаморфізму вихід летких речовин, не вдалося також підтвердити виконання правила Хільта для багатьох шахтопластів. Відповідно до якого зі збільшенням стратиграфічної глибини залягання пласта показник виходу летких речовин у вугіллі має знижуватися.

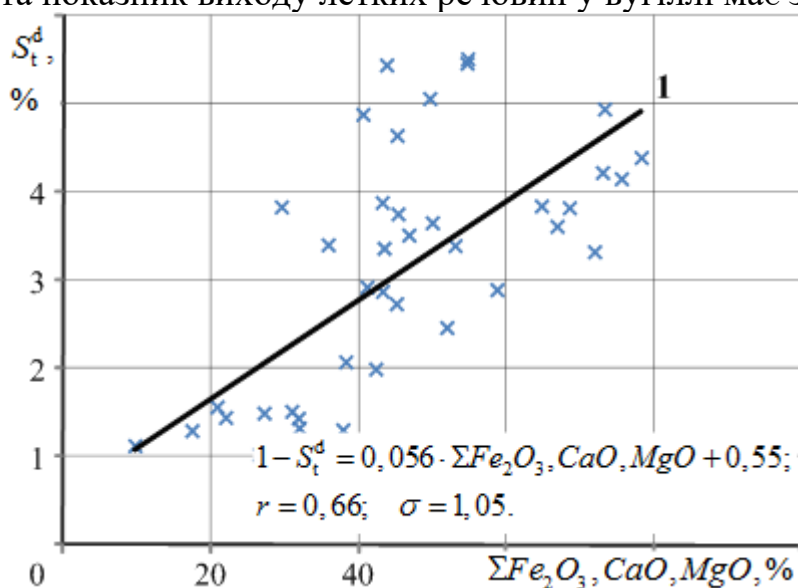


Рисунок 1 - Залежність вмісту загальної сірки (S_t^d) від суми основних окислів $\Sigma Fe_2O_3, CaO, MgO$ у складі золи.

1 - усереднююча пряма; x - експериментальні дані [9];

r - коефіцієнт кореляції; σ - середньоквадратичне відхилення.

Вихід летких речовин, враховуючи методи визначення, не відповідає класичній (загальноприйнятій) характеристиці метаморфізму як зміна складу та властивостей вугілля у процесі геологічних перетворень шахтопластів. Один показник, навіть самий універсальний, не може достовірно та всебічно характеризувати зміну співвідношення всіх компонентів органічної маси та її властивостей під впливом метаморфічних процесів. Якщо ж комплексно розглядати зміну співвідношення всіх основних компонентів органічної маси, то можна усунути невідповідності, які були викликані внаслідок використання виходу летких речовин в якості одного та єдиного показника метаморфічних перетворень органічної маси та небезпечних властивостей шахтопластів.

Необхідно на підставі досвіду встановлення якості палива, накопиченого протягом кількох десятиліть, довести необхідність удосконалення нормативних документів щодо безпечного ведення гірничих робіт, використовуючи замість виходу летких речовин показники, що безпосередньо характеризують зміну елементного складу та властивостей вугілля у процесі метаморфічних перетворень шахтопластів.

Методика проведення досліджень базується на статистичній обробці відомих експериментальних даних, одержаних практично для всіх шахтопластів Донбасу та Львівсько-Волинського басейну. Частина відомостей про вміст основних компонентів в органічній масі наведена в геолого-вуглехімічній карті [9], а в нормативно-довідкових документах щодо якості вугілля [15, 16] є дані



про основні компоненти в горючій частині палива.

В якості альтернативного критерію метаморфізму по відношенню до виходу летких речовин прийнятий показник вмісту вуглецю $C^{\circ}(C_T)$ в органічній (горючій) масі палива. Такий вибір альтернативного показника ґрунтується на тому, що при прогнозуванні прояву небезпечних властивостей шахтопластів показник вмісту вуглецю має певну перевагу перед іншими [17]. Вони полягають у наступному:

- вміст вуглецю безпосередньо відображає зміну складу органічної (горючої) речовини при метаморфічних процесах;
- при посиленні впливу метаморфізму відбувається зростання вмісту вуглецю в односторонньому порядку;
- з високою точністю вміст вуглецю контролює суму інших основних компонентів органічної (горючої) речовини - водню, азоту, кисню та органічної сірки.

За тіснотою кореляційних зв'язків показника виходу летких речовин V^{daf} та показника вмісту вуглецю $C^{\circ}(C_T)$ з основними компонентами органічної (горючої) маси робили висновок про відповідність кожного з аналізованих показників для достовірної характеристики однієї зі сторін метаморфічних перетворень шахтопластів, пов'язаних зі зміною вмісту основних компонентів органічної (горючої) маси та деяких споживчих якостей палива.

9.2. Проблеми встановлення типів шахтопластів та "відновленість" викопного вугілля

Відповідно до розробленої методики [9] тип кам'яного вугілля по відновленості визначається на підставі порівняння для двох шахтопластів виходу летких речовин (V^{daf}) та вмісту кисню в органічній речовині (O°). Додатковими показниками відновленості вважаються показники вмісту загальної сірки (S_t^d) та основних окислів у золі. До однотипних відносили шахтопласти, для яких при приблизно рівних значеннях V^{daf} , вміст кисню і показники вмісту загальної сірки та основних окислів у золі ($\Sigma Fe_2O_3, CaO, MgO$) також незначно відрізнялися між собою.

До різнотипних пластів належали, в основному, шахтопласти з вугіллям, вихід летких речовин яких був приблизно однаковим, але були деякі відмінності у вмісті кисню.

Конкретні допустимі відмінності у значеннях показника V^{daf} не були визначені, за яких два порівнювані шахтопласти можна було віднести до одного ступеня метаморфічних перетворень. Не встановлені також допустимі відмінності у вмісті кисню, за яких шахтопласти слід відносити до однотипних або різнотипних. Для більш детального вивчення точності застосування методу визначення типу вугілля по відновленості шахтопластів, додатково до показників V^{daf} та вмісту кисню в органічній масі (O°), залучили інші критерії такої оцінки. В якості додаткових критеріїв розглянули зміну вмісту вуглецю



(C°), водню (H°) та азоту (N°) в органічній масі, а також вміст загальної сірки (S_t^d), вихід золи (A^c) і товщину пластичного шару (y). Для всіх пар порівнюваних шахтопластів розраховували абсолютні та відносні відхилення між зазначеними показниками (табл. 1). Для однотипних шахтопластів у вуглехімічній карті [9] не вказано значення виходу золи. Експериментальні дані, яких бракує, про вихід золи для зазначеної групи шахтопластів встановили згідно з відомостями, наведеними в нормативно-довідкових документах [15, 16] за якістю палива.

Для коректності проведення аналізу отриманих результатів розглянули відповідність діапазонів зміни показників для однотипних та різнотипних пар шахтопластів. Значення виходу летких речовин для однотипних шахтопластів знаходились у інтервалі $43,9 \div 11,38\%$, а різнотипних вони змінювалися від $46,85$ до $17,88\%$, тобто крайні значення зміни V^{daf} були близькими між собою в обох випадках. Збіги крайніх значень діапазонів також спостерігалися і для інших показників. Вміст вуглецю (C°) для однотипних та різнотипних шахтопластів відповідно склало $79,87 \div 93,61\%$ та $79,88 \div 90,64\%$; кисню (O°) - $12,95 \div 0,89\%$ та $13,71 \div 1,80\%$; водню (H°) - $5,71 \div 4,35\%$ та $6,33 \div 3,94\%$; азоту (N°) - $2,01 \div 0,98\%$ та $1,90 \div 0,94\%$; вміст загальної сірки (S_t^d) - $6,43 \div 1,04\%$ та $6,13 \div 0,68\%$; товщина пластичного шару (y) - $0 \div 31$ мм та $0 \div 37$ мм.

Враховуючи, що автори вуглехімічної карти [9] передбачали зв'язок мінеральної частини вугілля із складом та властивостями органічної маси, до аналізу також залучили відомості про вихід золи. Діапазон зміни виходу золи для групи однотипних шахтопластів ($A^c = 6,5 \div 32,5\%$) дещо відрізнявся від інтервалу значень виходу золи для різнотипних шахтопластів ($1,70 \div 20,78\%$). У даному випадку однотипні пари шахтопластів характеризувались, судячи з виходу золи, ширшим діапазоном зміни мінеральних домішок. Різнотипним парам шахтопластів, навпаки, відповідав більш вузький інтервал зміни вмісту мінеральних домішок. Такі відмінності підтверджуються й вищими середніми значеннями виходу золи для однотипних пар шахтопластів ($\bar{A}^c = 15,77\%$) порівняно з її середнім виходом ($\bar{A}^c = 7,42\%$) для різнотипних пар. Наведені експериментальні дані не повною мірою відповідають загальним принципам встановлення однотипності пар шахтопластів внаслідок відсутності чітких для них меж вмісту компонентів органічної маси, виходу золи та вмісту загальної сірки при визначенні типу відновленості вугілля.

Для зручності аналізу та наочності порівняння відмітних ознак по відновленості між парами шахтопластів здійснили їх систематизацію з використанням середніх значень та максимальних показників (табл. 2).

При визначенні ступеня відновленості кам'яного вугілля за методикою [9] як основні критерії ступеня метаморфічних перетворень приймалися вихід летких речовин (V^{daf}) та вміст кисню (O°) на умовно органічну масу. Вплив інших факторів враховувався орієнтовно без зазначення кількісних значень.



Таблиця 1 - Результати визначення абсолютних та відносних відхилень між показниками основних компонентів органічної маси та деяких споживчих якостей палива для пар шахтопластів за рівної однотипності кам'яного вугілля та їх різнотипності з використанням експериментальних даних [9]

№ проби	Шахта	Індекс пл-в	Вихід летких речовин			Товщина пластичного шару			Елементарний склад на умовну органічну масу															Вихід золи [15, 16]		
									вміст вуглецю			вміст водню			вміст азоту			вміст кисню			вміст загальної сірки					
			V_{Vdaf} см ³ /Г	ΔV_a см ³ /Г	ΔV_o см ³ /Г	y мм	Δy_a %	Δy_o %	C^o %	ΔC_a %	ΔC_o %	H^o %	ΔH_a %	ΔH_o %	N^o %	ΔN_a %	ΔN_o %	O^o %	ΔO_a %	ΔO_o %	S_d^t %	ΔS_a %	ΔS_o %	A^c %	ΔA_a %	ΔA_o %
4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27			
Однотипне вугілля рівного ступеня метаморфізму																										
324	№ 1/2	l_4	43,19	-0,25	-0,58	—	—	—	81,14	1,27	1,57	5,30	-0,41	-7,74	1,29	-0,18	-13,95	12,27	-0,68	-5,54	5,28	1,61	30,49	18,0*	-0,6	3,33
326		l_2	43,44			—	—	—	79,87			5,71			1,47			12,95			3,67			18,6*		
832	№ 1-2 "Горская"	l_8	42,24	-1,67	-3,95	6	-2,00	-33,33	82,89	0,02	0,02	5,44	-0,18	-3,31	1,35	0,14	10,37	10,32	0,02	0,19	4,46	-0,91	-20,40	20,4*	-6,5	31,86
833		l_6	43,91			8			82,87			5,62			1,21			10,30			5,37			26,9*		
528	"Комсомолец"	l_7	31,62	-0,06	-0,19	27	-4,00	-14,81	88,35	0,20	0,23	5,32	-0,11	-2,07	2,01	0,03	1,49	4,32	-0,09	-2,08	5,01	-1,42	-28,34	27,2*	10,7	39,34
529		l_5	31,68			31			88,15			5,43			1,98			4,41			6,43			16,5*		
411	Им. Дзержинского	l_3	31,18	-0,22	-0,71	30	-1,00	-3,33	89,62	0,26	0,29	5,26	-0,31	-5,89	1,43	0,17	11,89	3,69	-0,12	-3,25	4,55	-0,82	-18,02	32,5*	18,1	55,69
413		l_2^1	31,40			31			89,36			5,57			1,26			3,81			5,37			14,4*		
1236	"Белянки"	h_3	17,46	-0,49	-2,81	12	—	—	90,69	0,72	0,79	4,78	-0,43	-9,00	1,32	-0,10	-7,58	3,21	-0,19	-5,92	1,04	-0,20	-19,23	17,5*	11,5	65,71
1237		h_2	17,95			12			89,97			5,21			1,42			3,40			1,24			6,5*		
1284	№ 16 бис артели "Горняк Донбасса"	l_3	11,90	0,52	4,37	0	—	—	93,61	0,14	0,15	4,35	-0,16	-3,68	0,98	-0,15	-15,31	1,06	0,17	16,04	3,90	0,43	11,03	—	—	—
1285		l_2^1	11,38			0			93,47			4,51			1,13			0,89			3,47					
Різнотипне вугілля рівного ступеня метаморфізму																										
330	№ 1/2	l_3	39,75	-7,10	-17,86	—	—	—	80,56	-0,45	-0,56	5,04	-0,89	-17,66	1,73	0,41	23,70	12,67	1,00	7,89	2,07	-3,64	-175,85	7,93	0,56	7,06
328		k_8	46,85			—	—	—	81,01			5,93			1,32			11,67			5,71			7,37		
2750	Им. Мельникова	l_6	37,94	-5,96	-15,71	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,15	-2,62	-227,83	4,45	-4,91	-110,34	
2752		l_2	43,90			—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3,77			9,36			
45п	Им. Мельникова	l_6	37,58	-6,88	-18,31	—	—	—	83,39	-1,59	-1,91	3,94	-0,14	-3,55	1,40	-0,41	-29,29	11,27	2,12	18,81	0,90	-4,55	-505,56	7,72	1,73	22,41
44п		l_2	44,46			—	—	—	84,98			4,08			1,81			9,15			5,45			5,99		
2723	"Ново-Дружковка"	l_6	38,03	-4,04	-10,62	0	-4,00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,16	-2,18	-187,93	7,49	-3,96	-52,87	
2727		k_8	42,07			4			—			—			—			—		3,34			11,45			
814	№ 4/6 "Карбонит"	l_8	37,15	-3,61	-9,72	10	-19,00	-190,00	83,80	-1,77	-2,11	5,08	-0,70	-13,78	1,66	0,42	25,30	9,46	2,05	21,67	1,62	-3,22	-198,77	4,15	-2,31	-55,66
848		k_8	40,76			29			85,57			5,78			1,24			7,41			4,84			6,46		
20	№ 1	l_4	37,76	-4,94	-13,08	—	—	—	81,74	-0,08	-0,10	5,31	-0,31	-5,84	1,41	-0,18	-12,77	11,54	0,57	4,94	1,63	-2,73	-167,48	2,87	-5,56	-193,73
21		k_8	42,70			—	—	—	81,82			5,62			1,59			10,97			4,36			8,43		
2749	Им. Мельникова	l_6	36,69	-8,55	-23,30	0	-7,00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,04	-2,64	-253,85	4,70	-2,58	-54,89	
2751		l_2	45,24			7			—			—			—			—		3,68			7,28			
871	№ 100 Запад	l_3	44,28	7,52	16,98	20	10,00	50,00	82,80	0,10	0,12	5,56	0,31	5,58	1,81	0,09	4,97	9,83	-0,50	-5,09	2,84	1,60	56,34	8,79	4,40	50,06
873		Восток	l_3	36,76			10			82,70			5,25		1,72			10,33			1,24			4,39		



Продовження таблиці 1

51 46	№ 2/7 "Лидиевка"	l_1 k_8	35,37 40,14	-4,77	-13,49	—	—	—	79,88 85,21	-5,33	-6,67	5,26 5,50	-0,24	-4,56	1,47 1,37	0,10	6,80	13,39 7,92	5,47	40,85	1,13 3,77	-2,64	-233,63	10,71 4,91	5,80	54,15
2097 2099	№ 13 "Никополь- Мариупольская"	l_1 k_8	33,63 39,82	-6,19	-18,41	10 29	-19,00	-190,00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,28 3,11	-1,83	-142,97	5,49 4,37	1,12	20,40
12п 11п	№ 13 "Никополь- Мариупольская"	l_1 k_8	35,09 39,12	-4,03	-11,48	12 30	-18,00	-150,00	80,81 88,75	-7,94	-9,83	4,54 4,74	-0,20	-4,41	0,94 1,50	-0,56	-59,57	13,71 5,01	8,70	63,46	1,10 3,03	-1,93	-175,45	15,81 5,72	10,09	63,82
2409 2414	Им. Ворошилова	l_1 k_8	32,95 37,01	-4,06	-12,32	13 30	-17,00	-130,77	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3,28 4,41	-1,13	-34,45	9,54 3,39	6,15	64,47
20п 19п	Им. Ворошилова	m_3 l_5	32,06 37,35	-5,29	-16,50	17 25	-8,00	-47,06	87,03 87,04	-0,01	-0,01	5,20 5,90	-0,70	-13,46	1,20 1,50	-0,30	-25,00	6,57 5,56	1,01	15,37	1,30 4,95	-3,65	-280,77	2,41 7,11	-4,70	-195,02
891 896	№ 22 "Голубовка"	l_3 l_1^0	32,76 40,65	-7,89	-24,08	9 13	-4,00	-44,44	83,45 85,01	-1,56	-1,87	5,14 5,72	-0,58	-11,28	1,68 1,45	0,23	13,69	9,85 7,82	2,03	20,61	1,08 3,45	-2,37	-219,44	3,07 9,64	-6,57	-214,01
2483 2484	№ 3 "Кочегарка"	l_7^1 l_5	32,59 36,56	-3,97	-12,18	16 30	-14,00	-87,50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2,74 6,13	-3,39	-123,72	18,33 12,02	6,31	34,42
14п 13п	№ 3 "Кочегарка"	l_7^1 l_5	32,51 35,34	-2,83	-8,71	18 30	-12,00	-66,67	83,80 88,70	-4,90	-5,85	5,38 5,27	0,11	2,04	1,48 4,23	-2,75	-185,81	8,74 1,80	6,94	79,41	1,50 4,34	-2,84	-189,33	10,00 8,88	1,12	11,20
975 980	№ 36	l_8^1 l_8	38,25 31,63	6,62	17,31	27 14	13,00	48,15	89,40 87,61	1,79	2,00	5,82 4,91	0,91	15,64	1,07 1,57	-0,50	-46,73	3,71 5,91	-2,20	-59,30	5,67 1,80	3,87	68,25	10,74 2,40	8,34	77,65
452 453	№ 11	m_3 m_2	30,72 36,25	-5,53	-18,00	11 20	-9,00	-81,82	86,47 87,15	-0,68	-0,79	5,28 5,70	-0,42	-7,95	1,51 1,24	0,27	17,88	6,74 5,91	0,83	12,31	1,20 3,75	-2,55	-212,50	1,70 5,54	-3,84	-225,88
2432 2433	№ 19/20	l_7^1 l_5	30,22 34,66	-4,44	-14,69	16 37	-21,00	-131,25	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,51 5,55	-4,04	-267,55	12,62 7,66	4,96	39,30
16п 15п	№ 19/20	l_7^1 l_5	32,46 34,95	-2,49	-7,67	16 29	-13,00	-81,25	87,12 87,86	-0,74	-0,85	6,33 5,69	0,64	10,11	1,69 1,77	-0,08	-4,73	5,86 4,74	1,12	19,11	1,92 5,46	-3,54	-184,38	9,13 7,71	1,42	15,55
507 508	№ 19/20	m_3 m_2	29,39 35,89	-6,50	-22,12	11 27	-16,00	-145,45	86,93 87,19	-0,26	-0,30	5,13 5,78	-0,65	-12,67	1,83 1,81	0,02	1,09	6,11 5,22	0,89	14,57	0,71 5,29	-4,58	-645,07	3,26 10,04	-6,78	-207,98
2509 2500	№ 4/5 "Никитовка"	m_3 l_5	28,57 31,69	-3,12	-10,92	13 36	-23,00	-176,92	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,68 3,95	-3,27	-480,88	12,56 20,78	-8,22	-65,45
17п 18п	№ 4/5 "Никитовка"	m_3 l_5	27,91 31,32	-3,41	-12,22	20 30	-10,00	-50,00	86,82 88,97	-2,15	-2,48	5,21 5,25	-0,04	-0,77	1,45 1,46	-0,01	-0,69	6,82 4,32	2,50	36,66	0,75 3,34	-2,59	-345,33	3,60 5,53	-1,93	-53,61
525 526	"Комсомолец"	m_3 m_2	28,43 32,80	-4,37	-15,37	16 26	-10,00	-62,50	87,87 88,21	-0,34	-0,39	4,82 5,84	-1,02	-21,16	1,90 1,79	0,11	5,79	5,41 4,16	1,25	23,11	0,87 4,66	-3,79	-435,63	2,36 7,51	-5,15	-218,22
428 431	Им. Артема	l_7 l_5	27,57 32,58	-5,01	-18,17	15 34	-19,00	-126,67	88,24 88,37	-0,13	-0,15	5,36 5,46	-0,10	-1,87	1,35 1,43	-0,08	-5,93	5,05 4,74	0,31	6,14	1,13 3,55	-2,42	-214,16	3,77 5,70	-1,93	-51,19
236 237	"Капитальная"	l_6 l_4	19,66 20,86	-1,20	-6,10	—	—	—	90,64 90,38	0,26	0,29	4,62 4,72	-0,10	-2,16	1,46 1,42	0,04	2,74	3,28 3,48	-0,20	-6,10	1,29 2,11	-0,82	-63,57	6,06 12,20	-6,14	-101,32
1084 1085	№ 6 "Брянка"	l_8 l_6	17,88 20,87	-2,99	-16,72	7 13	-6,00	-85,71	90,04 90,11	-0,07	-0,08	4,96 4,68	0,28	5,65	1,57 1,56	0,01	0,64	3,43 3,65	-0,22	-6,41	1,62 2,54	-0,92	-56,79	3,93 5,38	-1,45	-36,90

Примітка: * - дані про вихід золи згідно [15, 16]



Таблиця 2 - Узагальнені результати визначення абсолютних та відносних відхилень між вмістом основних компонентів органічної маси та деякими споживчими якостями кам'яного вугілля для пар шахтопластів з використанням даних [9]

Передбачувані показники метаморфізму кам'яного вугілля та його якостей	Показники однотипності пар шахтопластів за критерієм їхньої відновленості	Кількісні значення показників однотипності пар шахтопластів		Середня різниця між показникам и типів вугілля по відновленості пар шахтопластів	Відношення середніх значень показників різнотипних шахтопластів до однотипних, рази
		однотипних пластів	різнотипних пластів		
1	2	3	4	5	6
Вихід летких речовин, V_{daf}^{daf} , %	середні значення, \bar{V}^{daf}	27,14	34,62	7,48	1,28
	середні абсолютні відхилення, $\Delta \bar{V}_a$	0,54	4,94	4,40	9,15
	максимальні абсолютні відхилення, ΔV_{max}^a	1,67	7,89	6,22	4,72
	середні відносні відхилення, $\Delta \bar{V}_o$	2,10	14,93	12,83	7,11
	максимальні відносні відхилення, ΔV_{max}^o	4,37	24,80	20,43	5,68
Вміст вуглецю, C_o , %	середні значення, \bar{C}_o	87,50	85,98	-1,52*	0,98
	середні абсолютні відхилення, $\Delta \bar{C}_a$	0,44	1,59	1,15	3,61
	максимальні абсолютні відхилення, ΔC_{max}^a	1,27	7,94	6,67	6,25
	середні відносні відхилення, $\Delta \bar{C}_o$	0,51	1,92	1,38	3,76
	максимальні відносні відхилення, ΔC_{max}^o	1,57	9,83	8,26	6,26
Вміст кисню, O_o , %	середні значення, \bar{O}_o	5,89	7,19	1,30	1,22
	середні абсолютні відхилення, $\Delta \bar{O}_a$	0,21	2,48	2,27	11,81
	максимальні абсолютні відхилення, ΔO_{max}^a	0,68	8,74	8,06	12,85
	середні відносні відхилення, $\Delta \bar{O}_o$	5,58	24,31	18,73	4,36
	максимальні відносні відхилення, ΔO_{max}^o	16,04	79,41	63,37	4,95
Вміст водню, H_o , %	середні значення, \bar{H}_o	5,21	5,26	0,05	1,01
	середні абсолютні відхилення, $\Delta \bar{H}_a$	0,13	0,44	0,31	3,88
	максимальні абсолютні відхилення, ΔH_{max}^a	0,43	0,91	0,48	2,12
	середні відносні відхилення, $\Delta \bar{H}_o$	2,64	8,43	5,79	3,19
	максимальні відносні відхилення, ΔH_{max}^o	9,00	21,16	12,16	2,35



Продовження таблиці 2

Вміст азоту, N_o , %	середні значення, \bar{N}_o	1,40	1,59	0,19	1,14
	середні абсолютні відхилення, $\Delta\bar{N}_a$	0,06	0,35	0,29	5,83
	максимальні абсолютні відхилення, ΔN_{max}^a	0,18	0,91	0,73	5,06
	середні відносні відхилення, $\Delta\bar{N}_o$	5,05	24,90	19,85	4,93
	максимальні відносні відхилення, ΔN_{max}^o	15,31	59,37	44,06	3,88
Вміст загальної сірки, S_d^t , %	середні значення, \bar{S}_o	4,15	2,68	1,47*	0,65
	середні абсолютні відхилення, $\Delta\bar{S}_a$	0,90	2,78	1,88	3,09
	максимальні абсолютні відхилення, ΔS_{max}^a	1,61	4,65	3,04	2,89
	середні відносні відхилення, $\Delta\bar{S}_o$	21,25	222,66	206,41	10,71
	максимальні відносні відхилення, ΔS_{max}^o	30,49	645,07	614,58	21,16
Товщина пластичного шару, y , мм	середні значення, \bar{y}	15,70	18,57	2,87	1,18
	середні абсолютні відхилення, $\Delta\bar{y}_a$	1,40	12,95	11,55	9,25
	максимальні абсолютні відхилення, $\Delta y_{a max}$	4,00	23,00	19,00	5,75
	середні відносні відхилення, $\Delta\bar{y}_o$	10,29	102,31	92,02	9,95
	максимальні відносні відхилення, $\Delta y_{o max}$	33,30	190,00	156,70	5,70
Вихід золи, A^c , %	середні значення, \bar{A}^c	15,77	7,42	-8,35*	0,47
	середні абсолютні відхилення, $\Delta\bar{A}_a^c$	9,48	3,94	-5,54*	0,42
	максимальні абсолютні відхилення, $\Delta A_{a max}^c$	18,10	10,09	-8,01*	0,56
	середні відносні відхилення, $\Delta\bar{A}_o^c$	45,18	85,09	39,91	1,88
	максимальні відносні відхилення, $\Delta A_{o max}^c$	65,71	225,88	160,17	3,44

Примітка: * - перевищення значень показників однотипного вугілля по відношенню до різнотипного.

Середнє значення \bar{V}^{daf} для однотипних пар шахтопластів складало 27,14%, а для різнотипних 34,62%. Абсолютна різниця за фактором середнього виходу летючих речовин між парами шахтопластів становила 7,48%, а відносна понад двадцять відсотків. Відношення середнього значення показника \bar{V}^{daf} однотипних пар шахтопластів до середнього значення для різнотипних пар складало 1,28 (табл. 2).

Аналогічні кількісні співвідношення встановлені для середнього вмісту кисню (\bar{O}^o). Згідно з ними за середнім вмістом кисню пари однотипних шахтопластів кількісно відрізняються від різнотипних приблизно в однакових



пропорціях порівняно з показником V^{daf} . Приблизно такі ж відмінності між однотипними та різнотипними шахтопластами встановлені за середнім вмістом азоту (\bar{N}°) та товщиною пластичного шару (y). Практичних відмінностей не встановлено за середнім вмістом вуглецю (\bar{C}°) та водню (\bar{H}°).

Згідно з середніми значеннями передбачуваних показників метаморфізму кам'яного вугілля та їх якостей, головними факторами, які визначають однотипність пар шахтопластів згідно з [9], є вміст загальної сірки та вихід золи (табл. 2). Їх вплив на відновленість, виходячи із співвідношення середніх показників (відповідно 0,65 та 0,47), набагато сильніший у порівнянні з впливом середнього вмісту кисню на точність встановлення однотипності пар шахтопластів.

Поряд з цим для всіх показників встановлено суттєві відмінності між абсолютними та відносними відхиленнями між однотипними та різнотипними парами шахтопластів. Відмінності становлять від двох-трьох до кількох десятків разів. Це свідчить, що при зразковій індивідуальній рівності вмісту основних компонентів органічної маси для однотипних та різнотипних пар шахтопластів є методичні похибки в питаннях визначення генетичних типів вугілля за їх відновленістю.

При визначенні відновленості антрацитів враховувалась їх більш проста, порівняно з кам'яним вугіллям, будова [9]. На стадії метаморфізму антрацитів склад газів термічного розкладання набагато простіший, ніж у кам'яного вугілля (повна відсутність смоли, бензолу, ненасичених сполук), і одержувані водень та кисневмісні компоненти в газі обумовлені вже не крекінгом смоли або важких вуглеводнів, а в основному складом органічної маси антрацитів. З зазначених причин про ступінь відновленості худого вугілля, яке не спікається та антрацитів було використано [9] співвідношення водню та кисню в газі термічного розкладання (k_b). Це відношення обчислюється на підставі складу газу з об'ємних відсотків водневмісних (H_2, H_2S, CH_4) і кисневмісних (CO_2, CO) сполук у ньому:

$$k_b = \frac{H_2\% + H_2S\% + 2CH_4\%}{CO_2\% + 1/2CO\%} \text{ або скорочено } k_b = \frac{H}{O}. \quad (1)$$

Зміна коефіцієнта відновленості в залежності від ступеня метаморфізму, що визначається об'ємним виходом летких речовин (V_V^{daf}), відбувається досить в широкому інтервалі при одному значенні V_V^{daf} (рис. 2). На підставі цих даних однотипними вважалися ті антрацити, які при рівній мірі метаморфізму (значенні V_V^{daf}) і деяких інших показників (питомій вазі органічної маси k_d та питомому електроопору $\lg \rho$) - мають і однакові або близькі значення k_b .

Різнотипними вважаються ті антрацити, які при рівній мірі метаморфізму (V_V^{daf}), та однакових показниках k_d та $\lg \rho$, мають значення, які різко відрізняються k_b [9]. Як і у випадку встановлення однотипності кам'яного вугілля за їх відновленістю, так і для антрацитових шахтопластів також спостерігаються невизначеності у співвідношенні між впливаючими факторами. З цієї причини також розглянули абсолютні та відносні відхилення між показниками для пар



шахтопластів, що характеризують ізометаморфні однотипні та різнотипні антрацити (табл. 3).

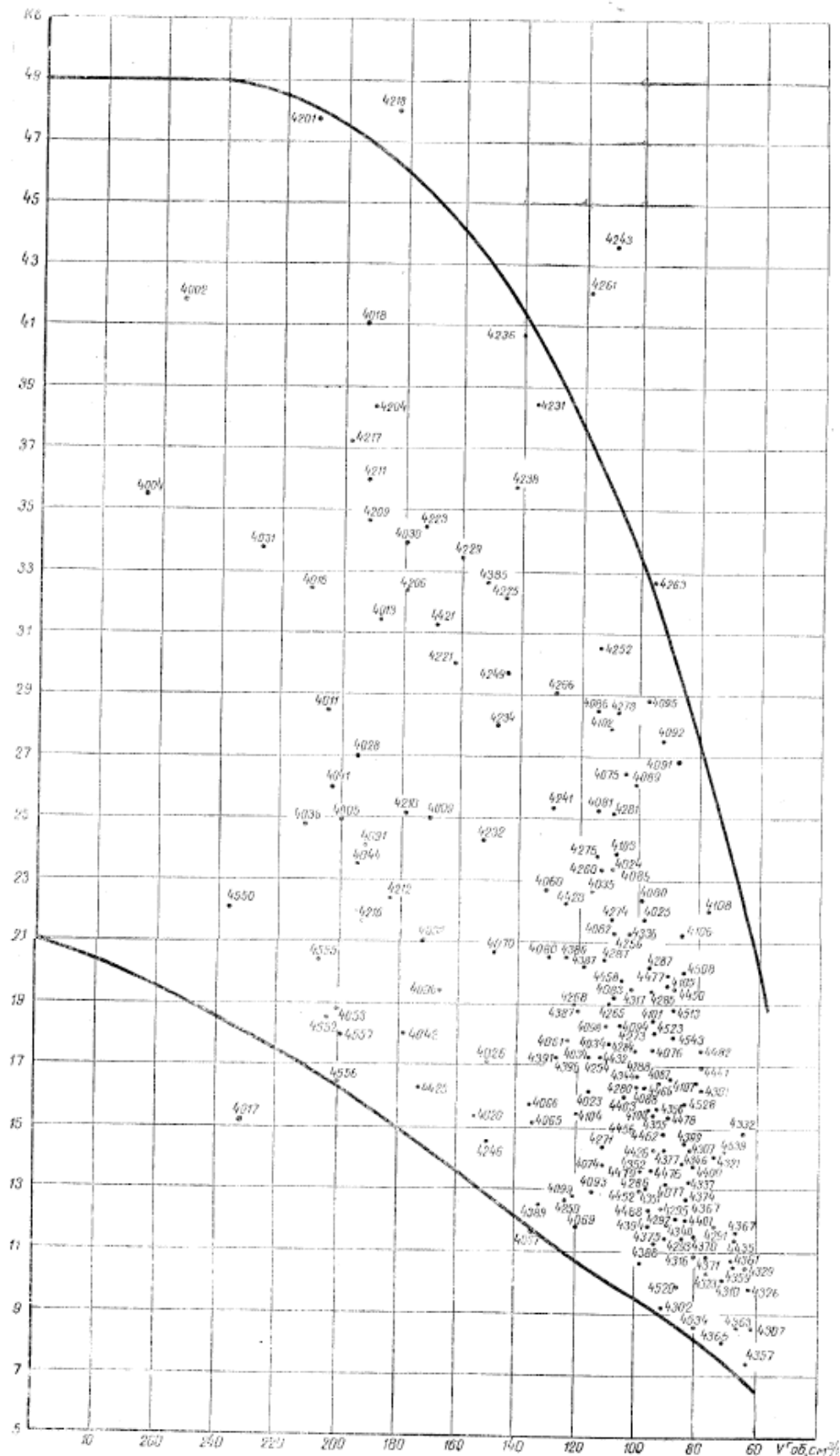


Рисунок 2 - Зміна коефіцієнта відновленості k_b при різному виході летких речовин.

● - експериментальні дані та номери проб згідно з [9].



Таблиця 3 - Результати визначення абсолютних та відносних відхилень між показниками основних компонентів органічної маси та деяких споживчих якостей палива для антрацитових пар шахтопластів за однакової ізометаморфності однотипних антрацитів та їх різнотипності з використанням експериментальних даних [9]

№ проби	Індекс пластів	Вихід летких речовин			Питома вага органічної маси			Логарифм питомого електроопору			Коефіцієнт відновленості			Вміст загальної сірки			Елементарний склад на умовну органічну масу											
		вміст вуглецю		вміст водню			вміст азоту			вміст кисню			C°		H°		N°		O°									
		V_V^{daf} см ³ /Г	ΔV_a см ³ /Г	ΔV_o см ³ /Г	k_d	$\Delta k_{да}$	$\Delta k_{до}$	$lg\rho$	Δlg_a	Δlg_o	k_b	$\Delta k_{ба}$	$\Delta k_{בו}$	S_d^i	ΔS_a	ΔS_o	C°	ΔC_a	ΔC_o	H°	ΔH_a	ΔH_o	N°	ΔN_a	ΔN_o	O°	ΔO_a	ΔO_o
Ізометаморфні однотипні антрацити																												
4041	k_2^2	203,2	2,90	1,43	1,364	-0,004	-0,293	5,82	0,02	0,34	26,0	1,9	7,3	2,11	0,61	28,91	93,89	-0,62	-0,66	2,17	0,19	8,76	1,83	0,58	31,69	1,51	-0,75	-49,67
4054	k_2	200,3			1,368			5,80			24,1			1,50			94,51			1,98			1,25			2,26		
4210	l_4	179,2	-14,0	-7,81	1,380	0,004	0,290	4,67	-0,46	-9,85	25,1	3,5	13,9	1,59	-0,66	-41,51	95,77	-0,38	-0,40	1,17	-0,86	-73,50	1,98	0,63	31,82	1,02	0,55	53,92
4116	l_4	193,2			1,376			5,13			21,6			2,25			96,15			2,03			1,35			0,47		
4386	k_5^2	125,9	7,40	5,88	1,475	-0,001	-0,068	2,55	0,00	0,00	20,7	0,5	2,4	1,78	0,36	20,22	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
4357	k_5	118,5			1,476			2,55			20,2			1,42			95,01			1,71			1,04			2,24		
4094	h_8	109,5	-0,10	-0,09	1,495	-0,005	-0,334	2,43	-0,07	-2,88	17,4	1,9	10,9	1,07	-0,12	-11,21	96,56	2,17	2,25	2,10	0,23	10,95	1,06	0,08	7,55	0,18	-2,58	-1433,3
4104	h_8	109,6			1,500			2,50			15,5			1,19			94,39			1,87			0,98			2,76		
4287	h_8	91,2	6,20	6,80	1,534	-0,017	-1,108	1,35	0,04	2,96	19,6	3,0	15,3	0,87	-0,30	-34,48	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
4306	h_8	85,0			1,551			1,31			16,6			1,17			95,75			1,50			0,83			1,92		
Ізометаморфні антрацити різних типів																												
4218	m_2	182,7	-10,50	-5,75	1,364	-0,012	-0,880	5,40	0,27	5,00	48,0	26,4	55,0	6,25	4,00	64,00	96,21	0,06	0,06	2,31	0,28	12,12	1,27	-0,08	-6,30	0,21	-0,26	-123,81
4216	l_4	193,2			1,376			5,13			21,6			2,25			96,15			2,03			1,35			0,47		
4236	l_2	138,5	-10,70	-7,73	1,428	-0,009	-0,630	3,42	0,18	5,26	40,7	26,1	64,1	2,14	0,86	40,19	94,54	-2,32	-2,45	2,58	0,99	38,37	1,00	0,03	3,00	1,93	1,35	69,95
4246	l_2	149,2			1,437			3,24			14,6			1,28			96,86			1,59			0,97			0,58		
4261	k_5^1	118,0	5,70	4,83	1,500	-0,005	-0,333	2,23	0,24	10,76	42,1	28,2	67,0	2,74	0,90	32,85	96,30	-0,19	-0,20	1,64	-0,34	-20,73	1,05	-0,93	-88,57	1,01	-0,06	-5,94
4271	k_5^1	112,3			1,505			1,99			13,9			1,84			96,49			1,98			1,98			1,07		
4508	k_5^1	85,6	-4,50	-5,26	1,562	-0,002	-0,128	1,38	0,10	7,25	20,0	9,4	47,0	2,55	1,41	55,29	94,95	-1,72	-1,81	1,34	0,29	21,64	1,07	0,00	0,00	2,64	1,43	54,17
4338	k_5^1	90,1			1,564			1,28			10,6			1,14			96,67			1,05			1,07			1,21		
4311	h_8	66,0	3,40	5,15	1,581	-0,004	-0,253	0,66	0,07	10,61	10,7	3,3	30,8	2,59	0,68	26,25	96,85	-0,56	-0,58	1,21	0,21	17,36	0,84	-0,27	-32,14	1,10	0,62	56,36
4357	h_8	62,6			1,585			0,59			7,4			1,91			97,41			1,00			1,11			0,48		



У встановленні типів відновленості кам'яного вугілля та антрацитів згідно [9] відсутня логіка у виборі показників метаморфізму шахтопластів. Для кам'яного вугілля, хімічно складнішого по відношенню до антрацитів, приймається один показник - масовий вихід летких речовин (V^{daf}) без ідентифікації газів, що виділяються при термічному розкладанні палива.

При більш простій хімічній будові антрацитів робиться ідентифікація газів, які виділяються при термічному розкладі і додатково залучаються показники питомої ваги (k_d) та логарифму питомого електроопору ($\lg \rho$). Незважаючи на залучення додаткових показників для антрацитових шахтопластів, не встановлено конкретних критеріїв визначення їх типів по відновленості.

Головною причиною відмови від масового виходу летких речовин, як основного показника ступеня метаморфічних перетворень антрацитових шахтопластів, була встановлена взаємозалежність V^{daf} від V_V^{daf} (рис. 3).

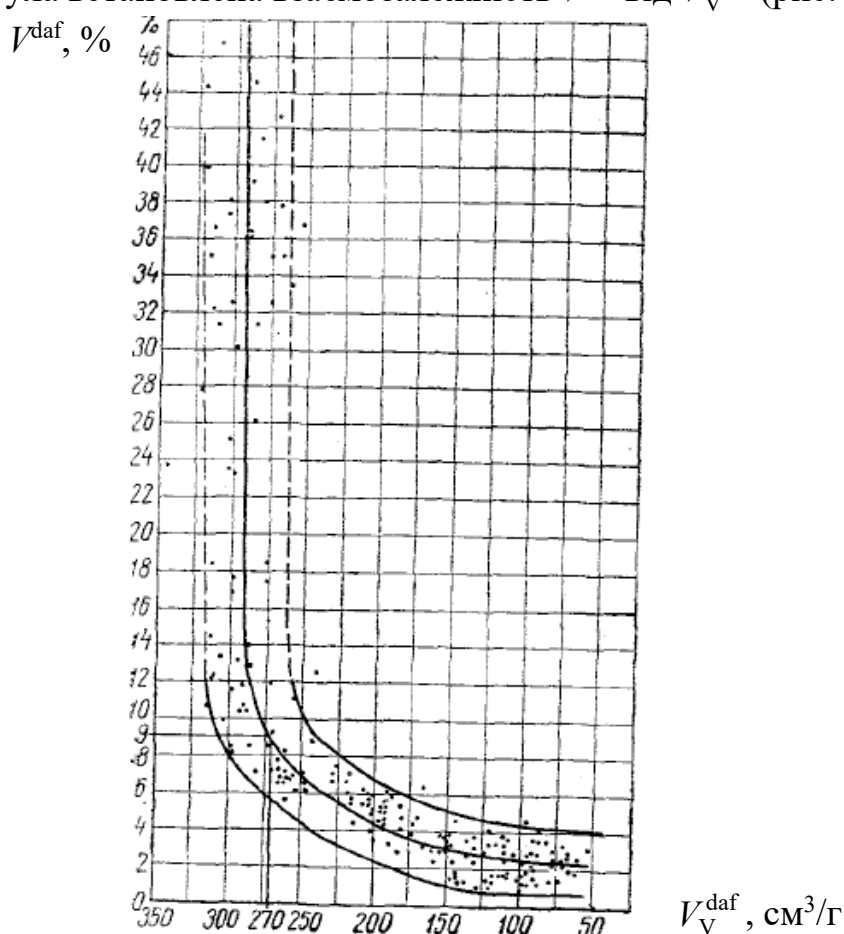


Рисунок 3 - Взаємозалежність масового та об'ємного виходу летких речовин згідно [9].

У широких межах зміни вагового виходу летких речовин від 46 до 9% об'ємний вихід газу змінюється дуже незначно, зменшуючись від 295 до 270 $\text{cm}^3/\text{г}$. Починаючи з 9% масового виходу летких речовин, характер кривої об'ємного виходу змінюється і при подальшому зниженні V^{daf} у порівняно вузькому діапазоні від 9 до 1,5% - V_V^{daf} змінюється у дуже широких межах, знижуючись від 270 до 60 $\text{cm}^3/\text{г}$. Отримані закономірності у зміні об'ємного виходу привели до таких висновків [9]:



– об'ємний вихід летких речовин у межах від довгопламенного до худого вугілля залишається практично незмінним і диференціювати це вугілля не може;
 – в області високометаморфізованого вугілля (худого, напівантрацитів та антрацитів) об'ємний вихід летких речовин значно більш тонко диференціює вугілля за ступенем їх метаморфізму, ніж вихід летких речовин, визначений ваговим методом, може бути прийнятий як класифікаційний показник ступеня метаморфізму цього вугілля.

Значення об'ємного виходу летких речовин для однотипних антрацитових шахтопластів перебували в інтервалі $85,0 \div 203,2 \text{ см}^3/\text{г}$, а для різнотипних вони змінювалися від $62,6$ до $193,2 \text{ см}^3/\text{г}$, тобто крайні значення зміни були близькі між собою (табл. 3). Незначно відрізнялися граничні значення і для більшості інших показників, що визначають різницю між однотипними та різнотипними парами шахтопластів за вмістом основних компонентів органічної маси. Для них вміст вуглецю в органічній масі (C°) відповідно знаходився в інтервалах $93,89 \div 96,56\%$ і $94,54 \div 97,41\%$; кисню (O°) - $0,18 \div 2,76\%$ та $0,21 \div 2,64\%$; водню (H°) - $1,17 \div 2,17\%$ та $1,00 \div 2,58\%$; азоту (N°) - $0,83 \div 1,98\%$ та $0,84 \div 1,98\%$.

Не встановлено також відчутних відмінностей у зміні меж діапазонів між однотипними та різнотипними антрацитовими шахтопластами за показниками питомої ваги органічної маси (k_d) та логарифму питомого електроопору ($\lg \rho$). Для питомої ваги вони відповідно склали $1,364 \div 1,551 \text{ см}^3/\text{г}$ та $1,364 \div 1,585 \text{ см}^3/\text{г}$, а для логарифму питомого електроопору - $1,31 \div 5,82$ та $0,59 \div 5,40$. Виходячи з приблизно однакових діапазонів зміни розглянутих показників (V_V^{daf} , C° , O° , H° , N° , k_d , $\lg \rho$), основними, при встановленні однотипності або різнотипності антрацитових шахтопластів, були показники вмісту загальної сірки S_t^d та коефіцієнт відновленості k_B . Згідно з крайніми значеннями цих показників, суттєво відрізнялися діапазони їх зміни для однотипних та різнотипних антрацитових шахтопластів. Зміна вмісту загальної сірки (S_t^d) відповідно для однотипних та різнотипних шахтопластів знаходилась в межах $0,87 \div 2,25\%$ та $1,14 \div 6,25\%$, а граничні значення коефіцієнтів відновленості (k_B) становили $15,5 \div 26,0$ та $17,4 \div 48,0$.

Для наочності фактичного розподілу шахтопластів по відновленості антрацитів узагальнені значення показників вмісту основних компонентів органічної маси, загальної сірки та деяких споживчих якостей, на підставі результатів визначення абсолютних та відносних їх відхилень для аналізованих пар шахтопластів (табл. 3), зведені в таблицю 4.

Слід зазначити відмінності результатів визначення однотипності антрацитових шахтопластів, пов'язані зі зміною граничних значень показників та їх середніми значеннями. При приблизно однаковому діапазоні зміни ступеня метаморфізму (об'ємний вихід летких речовин) середні значення \bar{V}_V^{daf} для різнотипних та однотипних антрацитових шахтопластів відрізняються в 1,36 рази. Різниця у вмісті сірки була дещо вищою (в 1,65 рази), це підтвердило суттєвий її вплив на відновленість антрацитів та тип шахтопластів.



Таблиця 4 - Узагальнені результати визначення абсолютних та відносних відхилень між вмістом основних компонентів органічної маси та деякими споживчими якостями антрацитів для пар шахтопластів з використанням даних [9]

Передбачувані показники метаморфізму антрацитів та їх якостей	Показники однотипності пар шахтопластів за критерієм їхньої відновленості	Кількісні значення показників ізометаморфних антрацитів		Середня різниця між показникам и типів антрацитів по відновленості пар шахтопластів	Відношення середніх значень показників різнотипних шахтопластів до однотипних, рази
		однотипних пластів	різнотипних пластів		
1	2	3	4	5	6
Об'ємний вихід летких речовин, V_V^{daf} , cm^3/g	середні значення, \bar{V}_V^{daf}	141,56	192,82	51,26	1,36
	середні абсолютні відхилення, $\Delta \bar{V}_a$	6,12	6,96	0,84	1,04
	максимальні абсолютні відхилення, ΔV_{max}^a	14,0	10,7	-3,3	0,76
	середні відносні відхилення, $\Delta \bar{V}_o$	4,40	5,74	1,34	1,30
	максимальні відносні відхилення, ΔV_{max}^o	7,81	7,73	-0,08	0,99
Вміст вуглецю, C_o , %	середні значення, \bar{C}_o	95,25	96,24	0,99	1,01
	середні абсолютні відхилення, $\Delta \bar{C}_a$	1,06	0,97	-0,09	0,92
	максимальні абсолютні відхилення, ΔC_{max}^a	2,17	2,32	0,15	1,07
	середні відносні відхилення, $\Delta \bar{C}_o$	1,10	1,02	-0,08	0,93
	максимальні відносні відхилення, ΔC_{max}^o	2,25	2,45	0,20	1,09
Вміст кисню, O_o , %	середні значення, \bar{O}_o	1,55	1,07	-0,48	0,69
	середні абсолютні відхилення, $\Delta \bar{O}_a$	1,29	0,74	-0,55	0,57
	максимальні абсолютні відхилення, ΔO_{max}^a	2,58	1,43	-1,15	0,55
	середні відносні відхилення, $\Delta \bar{O}_o$	512,30	62,05	-450,25	0,12
	максимальні відносні відхилення, ΔO_{max}^o	1433,38	123,81	-1309,49	0,09
Вміст водню, H_o , %	середні значення, \bar{H}_o	1,82	1,67	-0,15	0,92
	середні абсолютні відхилення, $\Delta \bar{H}_a$	0,43	0,42	-0,01	0,98
	максимальні абсолютні відхилення, ΔH_{max}^a	0,86	0,99	-0,13	1,15
	середні відносні відхилення, $\Delta \bar{H}_o$	31,07	22,04	-9,03	0,71
	максимальні відносні відхилення, ΔH_{max}^o	73,50	38,37	-35,13	0,52



Продовження таблиці 4

Вміст азоту, N_o , %	середні значення, \bar{N}_o	1,29	1,17	-0,12	0,91
	середні абсолютні відхилення, $\Delta\bar{N}_a$	0,43	0,26	-0,17	0,60
	максимальні абсолютні відхилення, ΔN_{max}^a	0,63	0,93	0,30	1,48
	середні відносні відхилення, $\Delta\bar{N}_o$	23,69	26,00	2,31	1,10
	максимальні відносні відхилення, ΔN_{max}^o	31,82	88,57	56,75	2,78
Вміст загальної сірки, S_d^t , %	середні значення, \bar{S}_o	1,50	2,47	0,97	1,65
	середні абсолютні відхилення, $\Delta\bar{S}_a$	0,41	1,57	1,16	3,83
	максимальні абсолютні відхилення, ΔS_{max}^a	0,66	4,00	3,34	6,06
	середні відносні відхилення, $\Delta\bar{S}_o$	27,27	43,72	16,45	1,60
	максимальні відносні відхилення, ΔS_{max}^o	41,51	64,00	22,49	1,54
Коефіцієнт відновленості, k_B	середні значення, \bar{k}_B	20,68	22,96	2,28	1,11
	середні абсолютні відхилення, $\Delta\bar{k}_B^a$	2,16	18,68	16,52	8,65
	максимальні абсолютні відхилення, Δk_{max}^a	3,5	28,2	24,7	8,06
	середні відносні відхилення, $\Delta\bar{k}_B^o$	9,96	52,78	42,82	5,30
	максимальні відносні відхилення, Δk_{max}^o	15,3	67,0	51,70	4,38
Питома вага органічної маси, k_d , г/см ³	середні значення, \bar{k}_d	1,452	1,490	0,038	1,03
	середні абсолютні відхилення, $\Delta\bar{k}_d^a$	0,0062	0,0064	0,0002	1,03
	максимальні абсолютні відхилення, Δk_{dmax}^a	0,017	0,012	-0,005	0,71
	середні відносні відхилення, $\Delta\bar{k}_d^o$	0,4186	0,4448	0,0262	1,06
	максимальні відносні відхилення, Δk_{dmax}^o	1,108	0,880	-0,228	0,79
Логарифм питомого електроопору, $\lg \rho$, %	середні значення, $\lg \bar{\rho}$	3,41	2,53	-0,88	0,74
	середні абсолютні відхилення, $\Delta \lg \bar{\rho}_a$	0,118	0,172	0,054	1,46
	максимальні абсолютні відхилення, $\Delta \lg \rho_{max}^a$	0,46	0,27	-0,19	0,59
	середні відносні відхилення, $\Delta \lg \bar{\rho}_o$	3,21	7,78	4,57	2,42
	максимальні відносні відхилення, $\Delta \lg \rho_{max}^o$	9,85	10,76	-9,09	1,09

За середнім вмістом компонентів органічної маси не встановлено значних відмінностей між типами антрацитових шахтопластів за середнім вмістом вуглецю (різниця у 1,01 рази), водню (у 0,92 рази) та азоту (у 0,91 рази).



Незначні відмінності спостерігалися також між середніми значеннями коефіцієнтів відновленості (в 1,11 рази) та питомою вагою органічної маси (у 1,03 рази). Такі результати отримані незважаючи на те, що показники k_B та k_D покладено в основу визначення однотипності чи різнотипності антрацитових шахтопластів.

Максимальні невідповідності встановлені між середніми значеннями вмістом кисню (відмінності у 0,69 рази) та логарифмом питомого електроопору (у 0,74 рази). Виходячи з логіки визначення однотипності шахтопластів, менші значення показників повинні сприяти близькості пар шахтопластів, тому що в цьому випадку зменшується ймовірність варіації аналізованих показників.

У разі розгляду середніх значень вмісту кисню та логарифму питомого електроопору зазначена логіка не підтвердилася. Їхні середні значення для сукупності однотипних шахтопластів суттєво перевищували середні значення для різнотипних антрацитів.

Відповідно до [9] стверджується, що абсолютна величина вмісту кисню зменшується, а відносна помилка його визначення зростає при посиленні впливу метаморфічних процесів (скороченні V_V^{daf}). Вміст кисню визначається як різниця, якої бракує до 100% до суми вуглецю, водню та азоту. На величині вмісту кисню позначаються помилки визначення цих елементів. Така версія, пов'язана з похибками визначення вмісту кисню, підтвердилася лише частково щодо типів пар шахтопластів кам'яного вугілля та антрацитів (табл. 5).

Таблиця 5 – Результати перевірки відповідності точності визначення кисню розрахунковим способом за сумою основних компонентів органічної маси

Компоненти органічної маси	Середні значення вмісту основних компонентів в органічній масі [9]			
	кам'яне вугілля		антрацити	
	однотипні шахтопласти	різнотипні шахтопласти	однотипні шахтопласти	різнотипні шахтопласти
Середній вміст вуглецю, \bar{C}_o , %	87,50	85,98	95,25	96,24
Середній вміст кисню, \bar{O}_o , %	5,89	7,19	1,55	1,07
Середній вміст водню, \bar{H}_o , %	5,21	5,26	1,82	1,62
Середній вміст азоту, \bar{N}_o , %	1,40	1,59	1,29	1,17
Σ	100,00	100,02	99,91	100,10

Для обох типів кам'яного вугілля значення середнього вмісту кисню відповідно становили 5,89 та 7,19%. Для антрацитів значення цих показників були значно нижчими – відповідно 1,55 та 1,07%. Сума аналізованих компонентів органічної маси для однотипного кам'яного вугілля строго дорівнювала 100%, а для різнотипних вона відрізнялася від ста відсотків всього на 0,02%. Для антрацитових шахтопластів відмінності суми основних компонентів від ста відсотків були справді значнішими. Для однотипних



шахтопластів вона була меншою на 0,09% (100-99,91), а для різнотипних – перевищувала на 0,10% (100,10-100). Якщо навіть ці відхилення від 100% відносити тільки до середніх значень вміст кисню в органічній масі антрацитів (1,55 та 1,07%), то похибка визначення вмісту кисню для обох випадків не перевищуватиме десяти відсотків. Відмінності ж у середньому вмісті кисню для однотипних (1,55%) та різнотипних (1,07%) антрацитів відрізняються між собою більш ніж на 30÷40%. Це свідчить про не випадковість вищого вмісту кисню в органічній масі однотипних антрацитів у порівнянні з різнотипними парами шахтопластів, що суперечить загальній логіці визначення відновленості вугілля. При встановленні однотипних пар шахтопластів кам'яного вугілля та антрацитів в обох випадках передбачається [9] зразкову рівність вмісту кисню в органічній масі при однаковому ступені метаморфічних перетворень шахтопластів (рівності V_V^{daf} для кам'яного вугілля та V_V^{daf} для антрацитів).

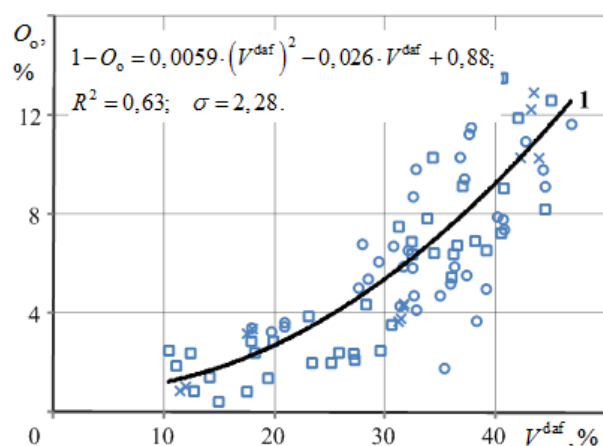
Різнотипні пари шахтопластів, за однакового ступеня їх метаморфізму, визначаються істотною різницею вмісту кисню. В обох випадках встановлення типу відновленості кам'яного вугілля та антрацитів основними критеріями є вміст кисню та ступінь метаморфічних перетворень шахтопластів. Одним із основних наслідків метаморфічних перетворень вугільних шахтопластів є зміна елементного складу органічної маси. Виходячи з цього логічно розглянути зміну елементного вмісту всіх основних компонентів органічної маси від прийнятих показників ступеня метаморфізму (V_V^{daf} та V_V^{daf}). Враховуючи, що показники V_V^{daf} та V_V^{daf} безпосередньо не відображають елементний вміст основних компонентів, паралельно розглянули аналогічні залежності цих компонентів від вмісту вуглецю.

9.3. Вихід летких речовин та вміст вуглецю як показники ступеня метаморфічних перетворень

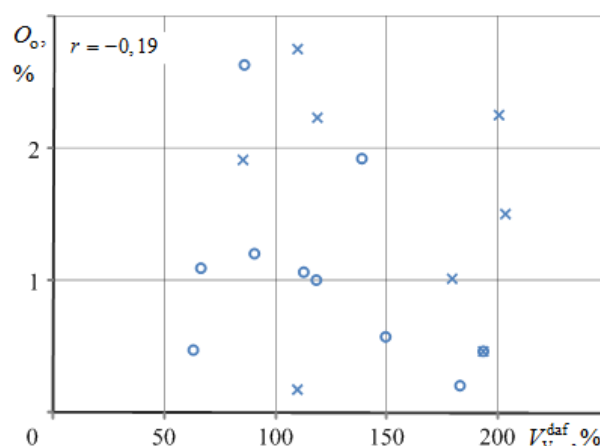
На відміну від показників V_V^{daf} та V_V^{daf} вміст вуглецю більш надійно визначає вміст кисню на всіх стадіях перетворення як кам'яного вугілля, так й антрацитів (рис. 4). Це слідує із слабкої кореляційної залежності вмісту кисню від V_V^{daf} (рис. 4, а) та її відсутності для V_V^{daf} (рис. 4, б). Залежність скорочення вмісту кисню при посиленні метаморфічних перетворень (зростанні C_0) на усіх стадіях характеризується (рис. 4, в) практично функціональною залежністю (коефіцієнт детермінації $R^2=0,97$). Слід зазначити, що на тісноту кореляційної залежності не вплинуло навіть додаткове залучення даних про вміст кисню та вуглецю для 41 шахтопласту (вся розглянута сукупність 109 шахтопластів), для яких згідно з [9] не виконується правило Хільта. Відповідно до цього правила зі збільшенням стратиграфічної глибини залягання шахтопластів вихід летких речовин у вугіллі знижується, тобто посилюється ступінь метаморфічних перетворень. Використовуючи як показник метаморфізму V_V^{daf} для значної частини шахтопластів кам'яного вугілля виявлено невідповідність значень V_V^{daf}



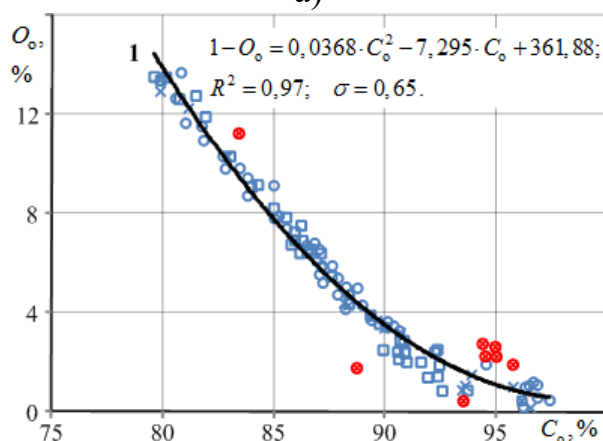
правилу Хільта. При цьому попередньо встановлено, що при використанні як показника метаморфізму C_0 невідповідності правилу Хільта усуваються.



а)



б)

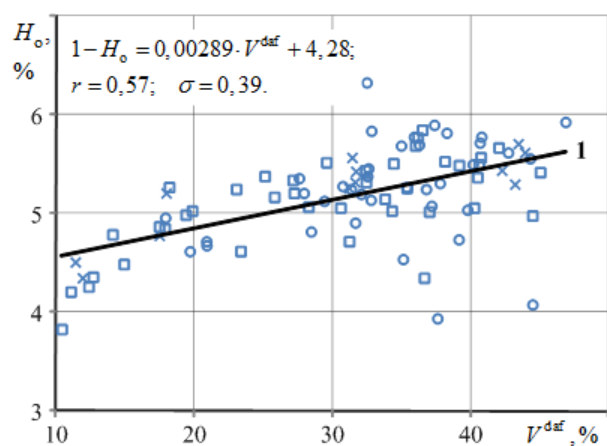


в)

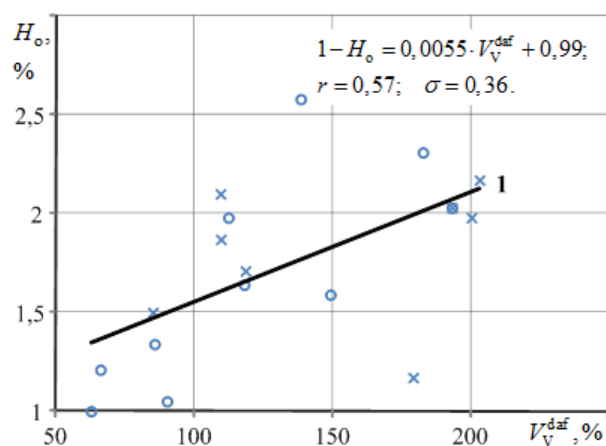
1 - усереднююча крива;
 ×, ○, □ - експериментальні дані відповідно для однотипного вугілля та антрацитів, різнотипного вугілля та антрацитів, для шахтопластів з різною відповідністю правилу Хільта; ⊗ - експериментальні дані з максимальним відхиленням від усереднюючої кривої;
 R^2 - коефіцієнти детермінації; σ - середньоквадратичні відхилення.

Рисунок 4 - Залежність вмісту кисню в органічній масі (O_o) від вагового виходу летких речовин (а), об'ємного виходу летких речовин (б) та від вмісту вуглецю (в) згідно з даними [9].

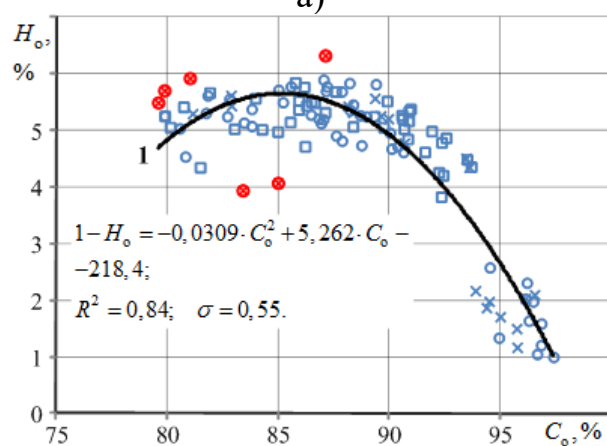
Приймаючи як показник метаморфізму вміст вуглецю замість виходу летких речовин, можна довести не лише справедливість правилу Хільта, а й пояснити закономірність різного вмісту кисню та інших основних компонентів за однакового ступеня метаморфічних перетворень шахтопластів. Вирішення цих питань, на відміну від споживчих якостей вугілля, має більш важливе значення при прогнозі небезпечних властивостей шахтопластів. Для з'ясування справжніх причин розподілу шахтопластів на типи по відновленості кам'яного вугілля та антрацитів, а також невідповідність правилу Хільта, розглянули зміни елементного вмісту водню (H^o) та азоту (N^o) в органічній масі по мірі посилення впливу метаморфічних процесів (рис. 5 та 6).



а)



б)



в)

1 - усереднюючі криві та пряма;
 ×, ○, □ - експериментальні дані відповідно для однотипного вугілля та антрацитів, різнотипного вугілля та антрацитів, для шахтопластів з різною відповідністю правилу Хільта; ⊗ - експериментальні дані з максимальним відхиленням від усереднюючої кривої; R^2 , r - відповідно коефіцієнти детермінації та кореляції; σ - середньоквадратичні відхилення.

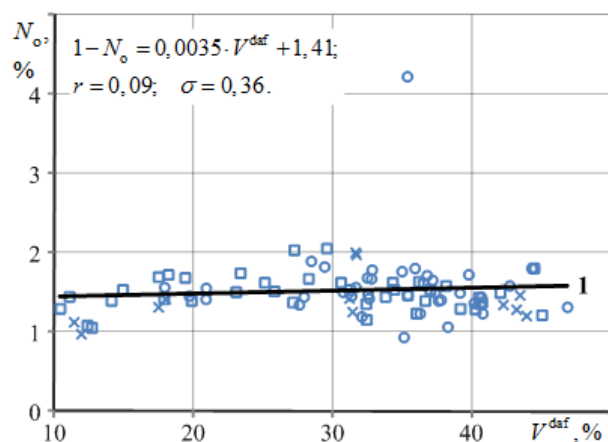
Рисунок 5 - Залежність вмісту водню в органічній масі (H_o) від вагового виходу летких речовин (а), об'ємного виходу летких речовин (б) та від вмісту вуглецю (в) згідно з даними [9].

Показники V^{daf} та V_V^{daf} , порівняно з C_o , по різному характеризують зміну вмісту водню (H^o) по мірі посилення впливу процесів метаморфізму. Для показників V^{daf} та V_V^{daf} встановлено слабку прямо-пропорційну залежність (рис. 5, а і б). Коефіцієнти кореляції (r) в обох випадках дорівнюють 0,57. Зміна ж вмісту водню від вуглецю відбувається за нелінійною залежністю (рис. 5, в). Коефіцієнт детермінації ($R^2=0,84$) характеризує тісний кореляційний зв'язок. Це свідчить, що показники V^{daf} та V_V^{daf} відображають, порівняно із вмістом вуглецю, різні аспекти метаморфічних перетворень кам'яного вугілля та антрацитів, які необхідні для встановлення їх споживчих якостей.

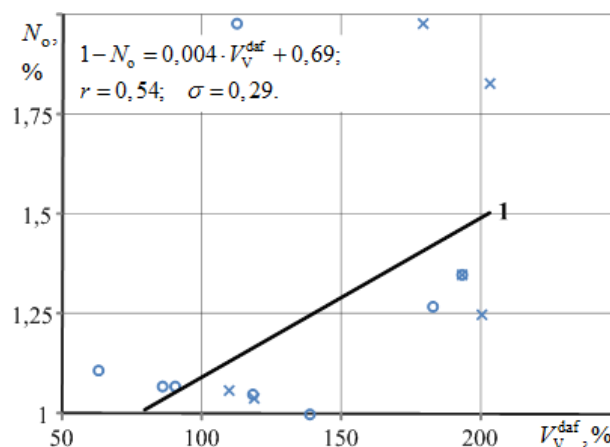
Зміна вмісту азоту в органічній масі незначною мірою залежить як від показників V^{daf} та V_V^{daf} , так й від вмісту вуглецю (рис. 6). У всіх випадках про це свідчать досить низькі коефіцієнти кореляції ($r=0,09$ для V^{daf}), ($r=0,54$ для V_V^{daf}) та ($r=-0,17$ для C_o). Вміст азоту на всіх стадіях метаморфізму, зазвичай, коливався незначно в межах $0,83 \div 2,01\%$. В одному випадку спостерігався "дикий" результат, коли вміст азоту (4,23%) у вугіллі пласта l_5 шахти № 3 "Кочегарка" більш ніж у два рази перевищувало максимальні значення для решти шахтопластів (рис. 6, а і в).



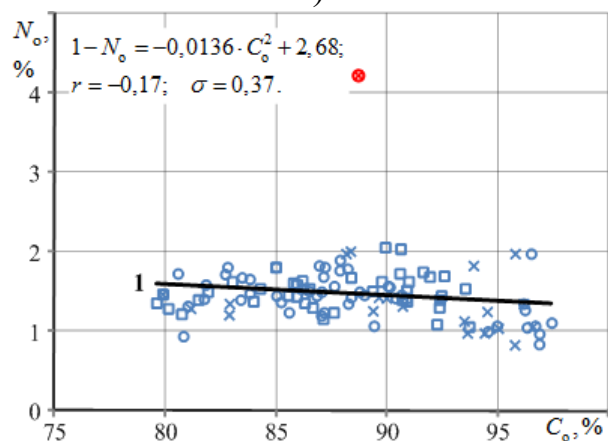
Поряд із цим, розглядаючи взаємозалежність між показниками метаморфізму V^{daf} та C_o , аномальних відхилень показників для пласта l_5 від усереднюючої кривої (1) не встановлено (рис. 7, а). Не виявлений також певний взаємозв'язок між вмістом вуглецю та об'ємним виходом летких речовин (рис. 7, б).



а)



б)



в)

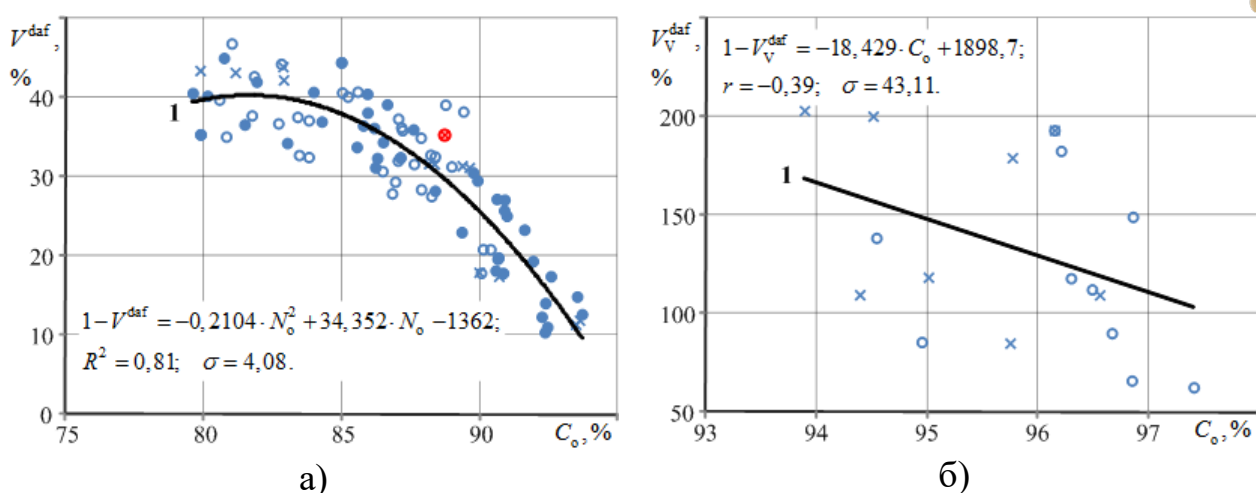
1 - усереднюючі прямі;
 ×, ○, □ - експериментальні дані відповідно для однотипного вугілля та антрацитів, різнотипного вугілля та антрацитів, для шахтопластів з різною відповідністю правилу Хільта; ⊗ - максимальне відхилення вмісту азоту в органічній масі пласта l_5 шахти № 3 "Кочегарка" від усереднюючої прямої; r - коефіцієнти кореляції; σ - середньоквадратичні відхилення.

Рисунок 6 - Залежність вмісту азоту в органічній масі (N_o) від вагового виходу летких речовин (а), об'ємного виходу летких речовин (б) та від вмісту вуглецю (в) згідно з даними [9].

Наведені результати свідчать, що при визначенні типів кам'яного вугілля та антрацитів за їх відновленістю не враховуються фактори, крім вмісту кисню, що визначають зміну співвідношення між вмістом інших основних компонентів. Це підтверджується не тільки аномальними відхиленнями вмісту азоту від усереднюючих прямих (рис. 6, а і в), а й значними відхиленнями значень вмісту кисню та водню від усереднюючих кривих (рис. 4, в та 5, в).

Максимальні відхилення від середніх ліній для значень азоту, кисню, водню та відповідні їм вмісти інших компонентів наведені в таблиці 6. Незалежно від індивідуальних співвідношень між компонентами органічної маси (C_o , O_o , H_o , N_o), їх сума у всіх випадках практично дорівнює 100%. З цієї причини навіть при аномальному вмісті одного або декількох компонентів в органічній масі вміст кисню функціонально визначатиметься залежністю:

$$O_o = 100 - \Sigma C_o, H_o, N_o, \% \quad (2)$$



1 - усереднюючі криві та пряма; ×, ○ - експериментальні дані [9] відповідно для однотипних та різнотипних шахтопластів; ● - експериментальні дані V^{daf} [9], які були використані для встановлення відповідності метаморфізму шахтопластів правилу Хільта; ; ⊗ - експериментальні дані показників [9] для пласта l_5 шахти № 3 "Кочегарка"; R^2 , r - відповідно коефіцієнти детермінації та кореляції; σ - середньоквадратичні відхилення.

Рисунок 7 - Взаємозалежність між вмістом вуглецю в органічній масі (C_o) з ваговим виходом летких речовин (V^{daf}) при термічному розкладанні кам'яного вугілля (а) та з об'ємним виходом летких речовин (V_v^{daf}) при термічному розкладанні антрацитів (б).

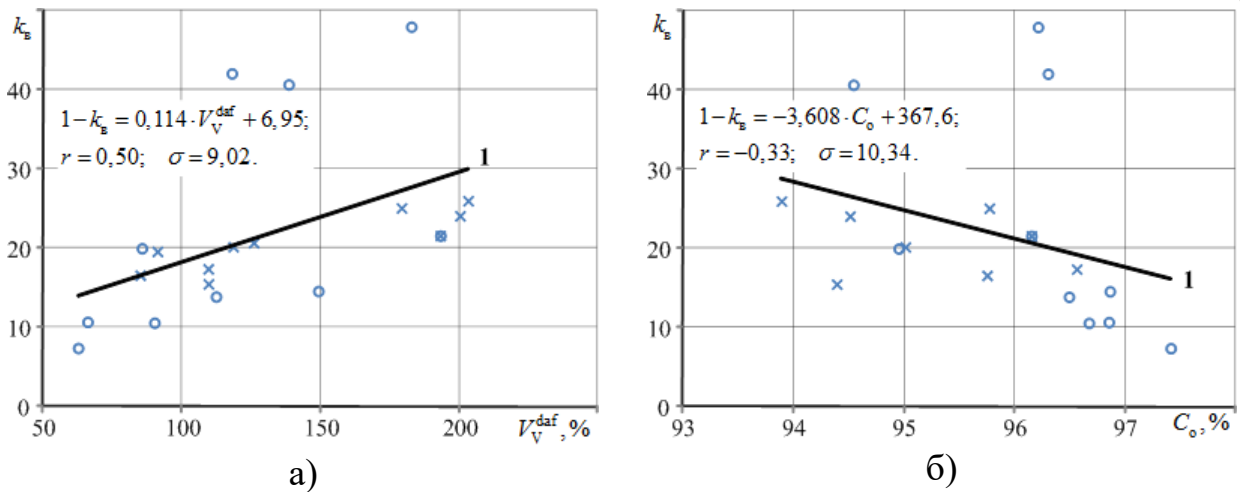
У вуглехімічній карті [9] встановлено невідповідність вмісту кисню ні ступеню метаморфічних перетворень органічної маси, що передбачає зміну елементного складу, а значенню виходу летких речовин. З цієї причини отримані неоднозначні результати визначення типів відновленості як кам'яного вугілля, так і антрацитів.

Зміна співвідношення між елементним складом органічної маси є лише однією із сторін метаморфічних перетворень шахтопластів. Паралельно з цими процесами на різних стадіях метаморфізму відбуваються також зміни у властивостях кам'яного вугілля та антрацитів, пов'язані зі зміною їхньої внутрішньої структури та фізико-хімічних показників. На стадії ізометаморфних антрацитів елементне співвідношення компонентів органічної маси, в тому числі й вміст кисню, малою мірою визначає фізико-хімічні властивості. Цим пояснюється відсутність кореляційних зв'язків коефіцієнтів відновленості як з об'ємним виходом летких речовин (V_v^{daf}), так і з вмістом вуглецю (рис. 8). Показник k_b характеризує молекулярне співвідношення вмісту водню та кисню у газах термічного розкладання антрацитів. Навіть ідентифікація цих газів при визначеності коефіцієнта відновленості не сприяло точності визначення k_b (рис. 2 і 8, а). Показник k_b також малою мірою залежить і від C_o (рис. 8, б).



Таблиця 6 - Відомості про елементний склад основних компонентів органічної маси для шахтопластів з максимальними відхиленнями експериментальних даних [9] від усереднюючих ліній

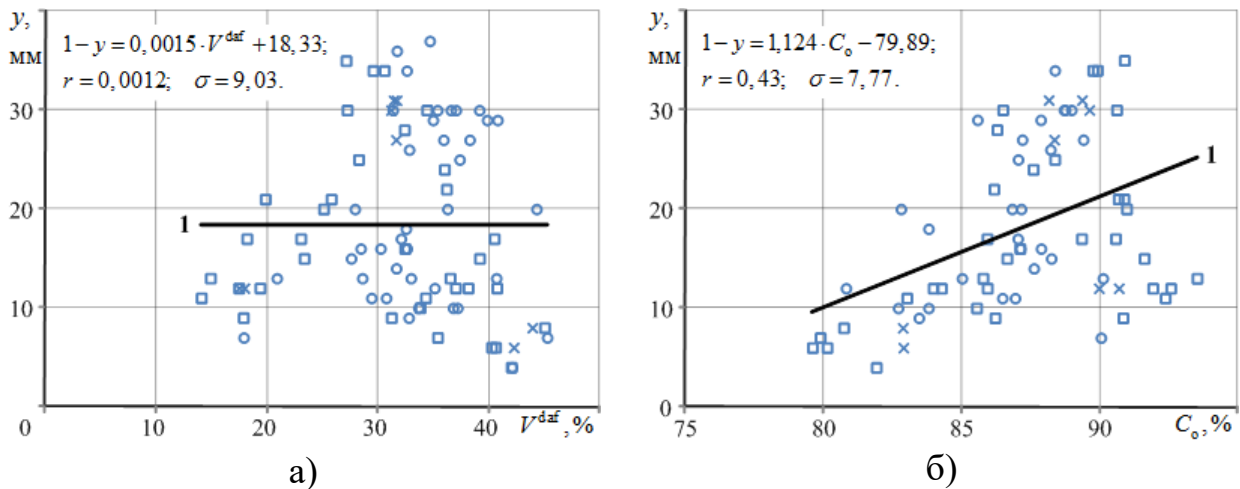
Компоненти органічної маси	Шахта або номери проб	Індекс шахтопласта	Максимальні відхилення від усереднюючих ліній		Елементний склад на умовно органічну масу, %				Сумарний склад компонентів, %	Примітка
			абсолютні, %	відносі по відношенню до розглянутого компонента, частки	C_o	O_o	H_o	N_o		
N_o	№ 3 "Кочегарка"	l_5	+2,76	+0,65	88,70	1,80	5,27	4,23	100,00	різномітне кам'яне вугілля
O_o	ім. Румянцева	m_3	-0,87	-0,41	90,61	2,14	5,21	2,04	100,00	правило Хілта
	№ 10 ім. Артема	l_8	-1,06	-2,35	93,52	0,45	4,49	1,54	100,00	правило Хілта
	ім. Мельникова	l_6	+1,82	+0,16	83,39	11,27	3,94	1,40	100,00	різномітне кам'яне вугілля
	№ 4104	h_8	+1,59	+0,58	94,39	2,76	1,87	0,98	100,00	однотипні антрацити
	№ 4054	k_2	+1,13	+0,50	94,51	2,26	1,98	1,25	100,00	однотипні антрацити
	№ 4387	k_5	+1,27	+0,57	95,01	2,24	1,71	1,04	100,00	однотипні антрацити
	№ 4306	h_8	+1,16	+0,60	95,75	1,92	1,50	0,83	100,00	однотипні антрацити
	№ 4236	l_2	+0,81	+0,42	94,54	1,93	2,58	1,00	100,05	різномітні антрацити
	№ 4508	k_5	+1,70	+0,64	94,95	2,64	1,34	1,07	100,00	різномітні антрацити
H_o	№ 2 "Трудовская"	l_3	+0,90	+0,16	79,60	13,54	5,50	1,36	100,00	правило Хілта
	№ 1/2	l_2	+1,03	+0,18	79,87	12,95	5,71	1,47	100,00	однотипне кам'яне вугілля
	№ 1/2	k_8	+0,85	0,14	81,01	11,67	5,93	1,32	99,93	різномітне кам'яне вугілля
	ім. Мельникова	l_2	-1,52	-0,37	84,98	9,15	4,08	1,81	100,02	різномітне кам'яне вугілля
	ім. Мельникова	l_6	-1,63	-0,41	83,39	11,27	3,94	1,40	100,00	різномітне кам'яне вугілля
	№ 19/20	l_7^1	+0,85	+0,13	87,12	5,86	6,33	1,69	101,00	різномітне кам'яне вугілля



1 - усереднюючі лінії; ×, ○ - експериментальні дані відповідно для однотипних та різнотипних антрацитів; r - коефіцієнти кореляції; σ - середньоквадратичні відхилення.

Рисунок 8 - Залежність коефіцієнта відновленості (k_v) від об'ємного виходу летких речовин (а) та від вмісту вуглецю (б) згідно з даними [9].

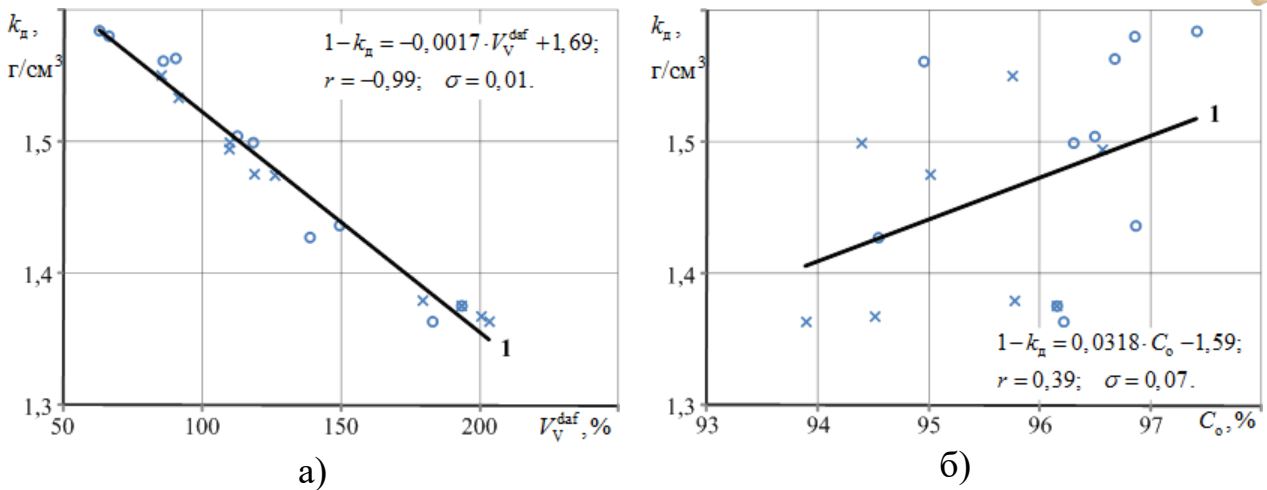
Показники V_v^{daf} та C_o не характеризують одноосібно таку властивість кам'яного вугілля, як товщина (y) пластичного шару (рис. 9).



1 - усереднюючі лінії; ×, ○ - експериментальні дані відповідно для однотипних та різнотипних антрацитів; r - коефіцієнти кореляції; σ - середньоквадратичні відхилення.

Рисунок 9 - Залежність товщини пластичного шару (y) від вагового виходу летких речовин (а) та від вмісту вуглецю (б) згідно з даними [9].

Переважа V_v^{daf} перед C_o полягає в точності характеристики фізико-електромеханічних властивостей антрацитів (рис.10 та 11). Це свідчить, що при прогнозі небезпечних властивостей шахтопластів, крім вмісту та відношення між собою основних компонентів органічної маси, необхідно додатково розглядати показники, що характеризують фізико-механічні властивості кам'яного вугілля та антрацитів.



1 - усереднюючі лінії; ×, o - експериментальні дані відповідно для однотипних та різнотипних антрацитів; r - коефіцієнти кореляції; σ - середньоквадратичні відхилення.

Рисунок 10 - Залежність питомої ваги органічної маси (k_d) від об'ємного виходу летких речовин (а) та від вмісту вуглецю (б) згідно з даними [9].

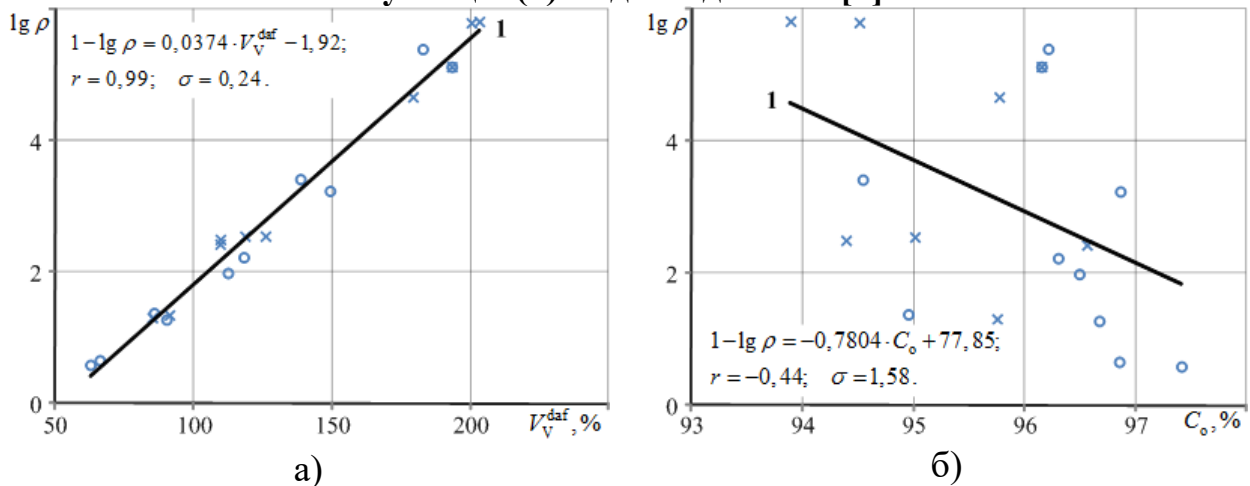


Рисунок 11 - Залежність логарифма питомого електроопору ($\lg \rho$) від об'ємного виходу летких речовин (а) та від вмісту вуглецю (б) згідно з даними [9].

9.4. Вплив органічної сірки на співвідношення між основними компонентами органічної маси

Значною мірою деякі невідповідності визначення типів кам'яного вугілля та антрацитів по різниці вмісту кисню були викликані тим, що у складі органічної маси спільно з вуглецем, воднем, азотом та киснем не було розглянуто вміст органічної сірки (S_o). Вміст органічної сірки генетично відноситься лише до органічної маси [11], тому при визначенні небезпечних властивостей шахтопластів її вміст необхідно розглядати разом з іншими основними компонентами C_o , O_o , H_o , N_o . Загальний вміст суми основних компонентів в органічній масі ($\Sigma C_o, H_o, N_o, O_o, S_o$) становить близько ста відсотків. В цьому

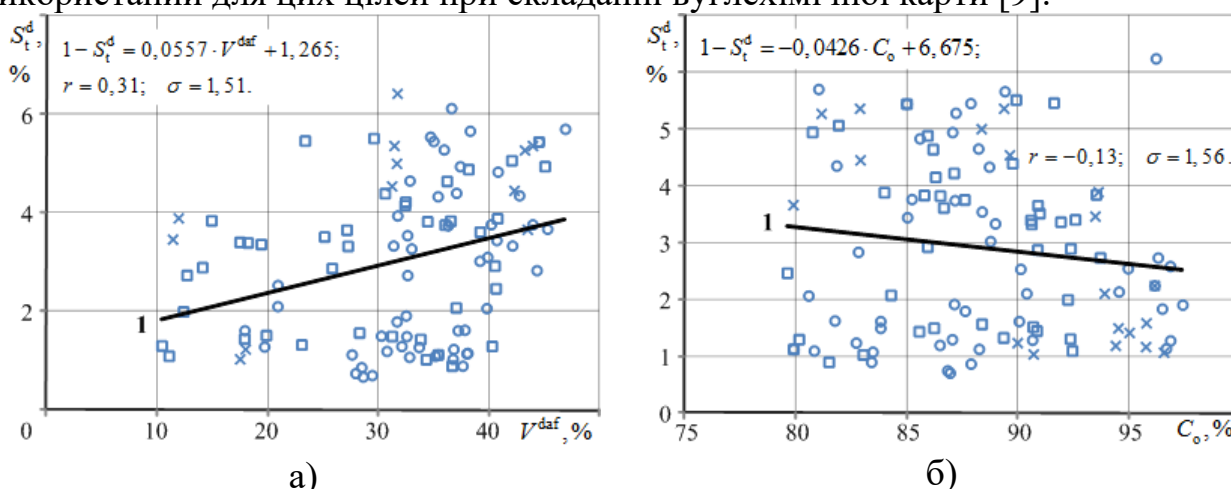


випадку вміст кисню необхідно розраховувати не за рівнянням (2), а визначати виходячи із залежності:

$$O_o = 100 - \Sigma C_o, H_o, N_o, S_o, \% \quad (3)$$

Можливий перерозподіл співвідношення між основними компонентами органічної маси при їхньому спільному розгляді з органічною сіркою можна оцінити виходячи зі вмісту загальної сірки (рис. 12). Загальна сірка не відноситься до показників метаморфічних перетворень шахтопластів, що підтверджується відсутністю кореляційних зв'язків як V^{daf} , так й C_o . Її вміст на всіх стадіях метаморфічних перетворень аналізованої сукупності шахтопластів здебільшого перебував у інтервалі 1,0÷6,0%.

Вміст загальної сірки у вугіллі шахтопластів інших басейнів коливається від 0,2 до 10% [11]. Сірка - небажана та шкідлива частина палива. При спалюванні вугілля вона виділяється у вигляді SO_2 , забруднюючи та отруюючи навколишнє середовище та викликаючи корозію металевих поверхонь, зменшує теплоту згоряння палив, а при коксуванні переходить у кокс, погіршуючи його властивості та якість металу. Вибір шляхів використання вугілля частково залежить від вмісту в них загальної сірки та її різновидів. Саме з цієї причини вміст загальної сірки є найважливішим показником якості вугілля і він був використаний для цих цілей при складанні вуглекімічної карти [9].



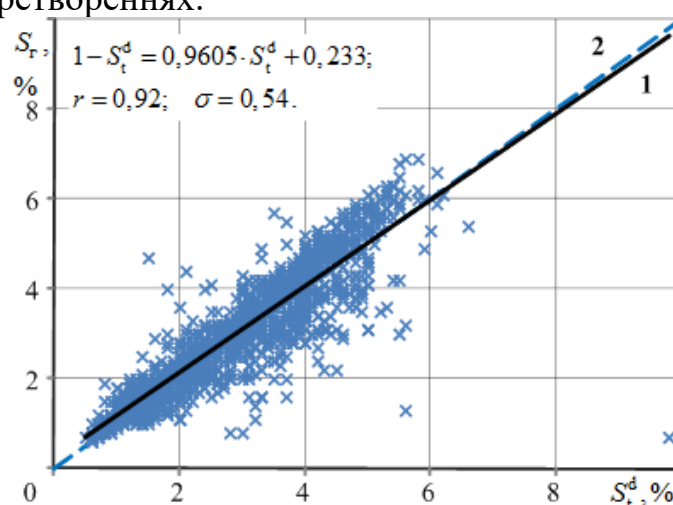
1 - усереднюючі лінії; ×, ○ - експериментальні дані [9] відповідно для однотипного кам'яного вугілля та антрацитів, різнотипного кам'яного вугілля та антрацитів, шахтопластів з різною відповідністю правилу Хільта; r - коефіцієнти кореляції; σ - середньоквадратичні відхилення.

Рисунок 12 - Залежність вмісту загальної сірки (S_t^d) від виходу летких (V^{daf}) речовин (а) та від вмісту (C_o) вуглецю (б).

Загальна сірка (S_t^d) значною мірою визначає вміст сірки у горючій частині палива (рис.13). У свою чергу, виходячи з попереднього збагачення аналітичних проб і виходу золи, як правило, менше 10%, можна стверджувати про приблизну рівність між S_T та S_o . У цьому випадку при середньоквадратичному відхиленні вмісту сірки у горючій частині 0,54% та використанні правила "трьох сигм", з високою ймовірністю відхилення від усереднюючої прямої показник вмісту сірки в органічній масі становитиме $\pm 1,62\%$. Загальний діапазон нерівномірності



абсолютної зміни сірки в органічній масі становитиме не менше трьох відсотків. Такі можливі коливання вмісту органічної сірки для аналізованої сукупності шахтопластів повністю перекривають різницю за середнім вмістом компонентів між однотипним та різнотипним кам'яним вугіллям (табл. 2), а також між антрацитами різних типів (табл. 4). Так для кам'яного вугілля абсолютна середня різниця між їхніми типами за вмістом вуглецю склала 1,52%, кисню – 1,30%, водню – 0,05% та азоту – 0,19%. Для антрацитів зазначена різниця відповідно склала для вуглецю – 0,99%, кисню – 0,48%, водню – 0,15% та азоту – 0,12%. Середня абсолютна різниця між типами шахтопластів кам'яного вугілля та антрацитів за сумарним вмістом компонентів (C_o , O_o , H_o , N_o) відповідно дорівнювала 3,06 та 1,74%. Ці цифри цілком зіставні з можливими коливаннями вмісту сірки в органічній масі ($\approx 3,0\%$) і свідчать про її важливу роль у перерозподілі частки вмісту між усіма основними компонентами при метаморфічних перетвореннях.



1 - усереднююча пряма; 2 - бісектриса координатної сітки;
 × - експериментальні дані [15, 16]; r - коефіцієнт кореляції;
 σ - середньоквадратичне відхилення.

Рисунок 13 - Взаємозалежність вмісту сірки в горючій частини палива (S_f) та загальної сірки (S_t^d).

Органічна сірка як різновид вивчена недостатньо, тому що відсутні методи виділення органічних сполук з вугілля [11]. Органічну сірку визначають розрахунковим шляхом:

$$S_o = S_t^d - (S_p + S_{SO_4}), \% \quad (4)$$

де S_p - частина загальної сірки вугілля, що входить до складу неорганічної маси вугілля у вигляді дисульфідів металів (піриту та марказиту), %;

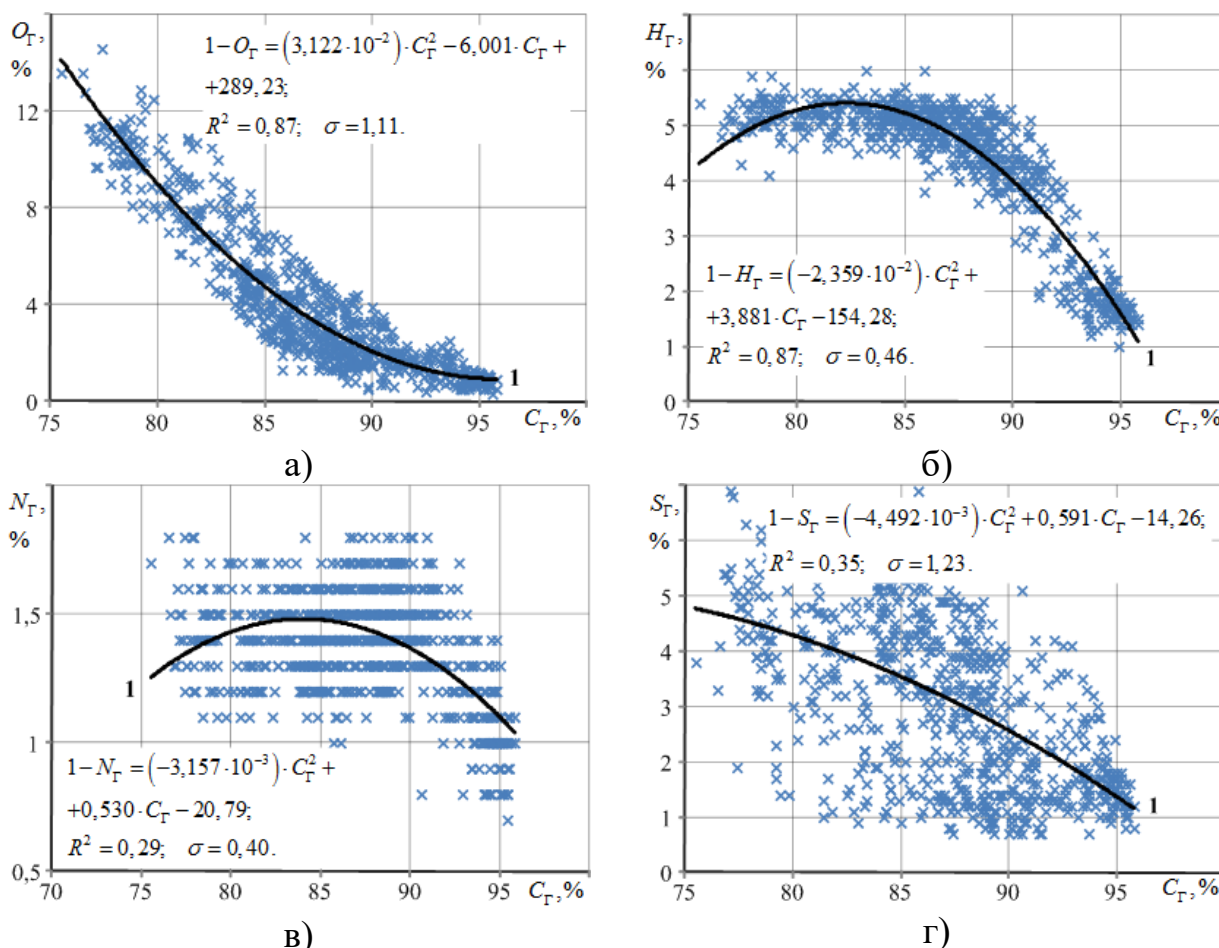
S_{SO_4} - сірка сульфатна, що входить до складу неорганічної маси вугілля, %.

Вміст сульфатної сірки (S_{SO_4}) невеликий і зазвичай становить $0,1 \div 0,2\%$ [11].

З цієї причини вміст органічної сірки визначається, в основному, різницею між загальною сіркою та сіркою S_p , що входить до складу неорганічної частини палива. Враховуючи, що основну частку неорганічної маси вугілля становить її



негорюча частина, а зольність аналітичних проб не перевищує 10%, значення вмісту органічної сірки буде максимально наближені до вмісту сірки в горючій частині палива. Використовуючи ці обставини, розглянули зміни вмісту основних компонентів горючої частини палива, включаючи вміст сірки S_{Γ} , по мірі посилення впливу (зростання C_{Γ}) метаморфічних процесів (рис. 14). Це дало змогу оцінити вплив вмісту сірки у горючій (органічній) частині на перерозподіл співвідношення між іншими основними компонентами.



1 - усереднюючі криві; \times - експериментальні дані [15];
 R^2 - коефіцієнти детермінації; σ - середньоквадратичні відхилення від усереднюючих кривих.

Рисунок 14 - Залежність вмісту кисню (а), водню (б), азоту (в) та сірки (г) у горючій частині палива від вмісту вуглецю для шахтопластів кам'яного вугілля та антрацитів.

Спільний розгляд сірки в горючій частині палива із вмістом вуглецю, кисню, водню та азоту суттєво вплинув на тісноту кореляційних зв'язків між ними. Особливо значущий вплив спільний розгляд сірки в горючій частині вплинуло на зміну вмісту кисню (рис. 14, а). Порівняно зі зміною кисню (O_0) в органічній масі (рис. 4, в), спостерігається, насамперед, зниження коефіцієнта детермінації (R^2) з 0,97 до 0,87 та збільшення середньоквадратичних відхилень від усереднюючих кривих (σ) з 0,65 до 1,11% (табл. 7).



Таблиця 7 - Результати статистичної обробки експериментальних даних [9, 15] щодо встановлення кореляційних залежностей між основними компонентами органічної маси та горючої частини палива шахтопластів Донецького та Львівсько-Волинського басейнів

Компонент органічної маси або горючої частини	Кількість оброблених пар даних	Рівняння кореляційного зв'язку	Показники тисноти кореляційного зв'язку	
			R^2	σ , %
Органічна маса [9]				
кисень	109	$O_o = (3,681 \cdot 10^{-2}) \cdot C_r^2 - 7,295 \cdot C_r + 361,88;$	0,97	0,65
водень	109	$H_o = (-3,09 \cdot 10^{-2}) \cdot C_r^2 + 5,262 \cdot C_r - 218,4;$	0,84	0,55
азот	109	$N_o = (-5,073 \cdot 10^{-3}) \cdot C_r^2 + 0,884 \cdot C_r - 36,95;$	0,14	0,39
загальна сірка	109	$S_t^d = (-1,411 \cdot 10^{-2}) \cdot C_r^2 + 2,455 \cdot C_r - 103,51;$	0,07	1,53
Горюча частина [15]				
кисень	734	$O_r = (3,122 \cdot 10^{-2}) \cdot C_r^2 - 6,001 \cdot C_r + 289,23;$	0,87	1,11
водень	734	$H_r = (-2,359 \cdot 10^{-2}) \cdot C_r^2 + 3,881 \cdot C_r - 154,28;$	0,87	0,46
азот	734	$N_r = (-3,157 \cdot 10^{-3}) \cdot C_r^2 + 0,530 \cdot C_r - 20,79;$	0,29	0,40
сірка	734	$S_r = (-4,492 \cdot 10^{-3}) \cdot C_r^2 + 0,591 \cdot C_r - 14,26;$	0,35	1,23
загальна сірка	734	$S_t^d = (-5,173 \cdot 10^{-3}) \cdot C_r^2 + 0,729 \cdot C_r - 21,48;$	0,35	1,08

Додатковий розгляд сірки в горючій частині палива в сукупності з іншими основними компонентами, судячи з близьких значень R^2 та σ , не мало істотного впливу на нелінійний характер зміни вмісту водню та його кількісні показники. На такі обставини вказують близькі значення коефіцієнтів детермінації та середньоквадратичних відхилень для залежності вмісту водню в органічній масі відповідно $R^2=0,84$ та $\sigma=0,55$ (рис. 5, в) з аналогічними показниками для вмісту водню в горючій частині (рис. 14, б). Це свідчить про те, що співвідношення середніх значень вмісту водню та сірки у процесі метаморфічних перетворень шахтопластів залишаються приблизно постійними як для органічної маси палива, так і для горючої її частини. Приблизно постійні значення вмісту водню в межах 5-6% в обох випадках для більшості шахтопластів спостерігаються відповідно при ($C_o > 85\%$ та $C_r > 85\%$) відбувається помітне зниження вмісту водню до мінімальних його значень ($\approx 1,0\%$) при вмісті вуглецю близько 95%.

Вміст азоту в органічній масі, крім одного аномального випадку ($N_o=4,23\%$), залишався практично постійним у межах одного-двох відсотків (рис. 6, в). У горючій частині палива для багатьох шахтопластів при досягненні значень C_r більше 92% вміст азоту знижувався менше одного відсотка (рис. 14, в). На низький кореляційний зв'язок азоту як в органічній масі палива (N_o), так і в його горючій частині (N_r) із вмістом вуглецю (табл. 7), вказують незначні коефіцієнти



детермінації (відповідно 0,14 та 0,29). Середньоквадратичні відхилення були приблизно однаковими (0,39 та 0,40%), що підтверджує знаходження азоту лише в органічній масі вугілля [11].

Зміна вмісту сірки в горючій частині палива має випадковий характер (рис. 14, г). Про це свідчить незначний коефіцієнт детермінації ($R^2=0,35$) та високе значення середньоквадратичного відхилення від кривої ($\sigma=1,23\%$). Середньоквадратичне відхилення сірки перевищує цей показник для інших основних компонентів горючої частини вугілля (табл. 7). Це вказує на значну роль сірки у розподілі частки вмісту між основними компонентами як в органічній масі, так і в горючій частині палива. Такий вплив підтверджується істотними значеннями середньоквадратичних відхилень вмісту загальної сірки (S_t^d) від усереднюючих кривих як для її залежності від вмісту вуглецю в органічній масі ($\sigma=1,58\%$), так і для залежності від вмісту вуглецю в горючій частині палива ($\sigma=1,10\%$).

Розгляд вмісту сірки у горючій частині палива (S_r) разом із іншими основними компонентами (C_r , O_r , H_r , N_r) значною мірою вплинув на перерозподіл співвідношення між ними (рис. 14).

9.5. Стадії метаморфічних процесів відповідно до зміни співвідношення між змістом основних компонентів

Незважаючи на наявність тісних кореляційних залежностей тільки для вмісту кисню та водню від вуглецю (рис. 14, а і б), неможливо констатувати факт контролю вмісту вуглецю над вмістом зазначених компонентів.

Так, на пізніх стадіях метаморфічних перетворень шахтопластів ($C_r > 90\%$) середньоквадратичне відхилення ($\sigma=1,14\%$) може значно перевищувати абсолютний вміст кисню, експериментальні значення яких становлять менше одного відсотка для окремих шахтопластів [15]. Висока нерівномірність на усіх стадіях метаморфізму спостерігається й для вмісту водню.

Вміст азоту і сірки на всіх стадіях перетворення вугілля для аналізованої сукупності шахтопластів носить явний випадковий характер (рис. 14, в і г).

Незважаючи на наведені неоднозначні індивідуальні співвідношення між основними компонентами горючої частини палива та вуглецем, останній достовірно контролює їхню загальну суму. Така достовірність гарантується близькістю суми всіх компонентів горючої частини палива до 100% (з похибкою близько 1,0%) і справедливою для розглянутого випадку рівняння:

$$C_r = 100 - \Sigma O_r, H_r, N_r, S_r, \% \quad (5)$$

Враховуючи це рівняння та емпіричні залежності (рис. 14, табл. 7), розглянули можливі зміни у співвідношеннях між середніми значеннями основних компонентів горючої частини палива у процесі посилення метаморфічних перетворень (зростання C_r) шахтопластів (рис. 15). Кожна точка перетину двох кривих, які характеризують індивідуальну зміну середніх значень вмісту цих компонентів у горючій частині, свідчить про зміну співвідношення в



елементному складі між основними компонентами.

Такі зміни в елементному складі не можуть не впливати на прояв небезпечних властивостей шахтопластів. Шахтопласти для яких показники вмісту основних компонентів (O_r, H_r, N_r, S_r) знаходяться між двома сусідніми точками перетину кривих можна вважати, у першому наближенні, близькими за проявом небезпечних властивостей за фактором метаморфічних перетворень.

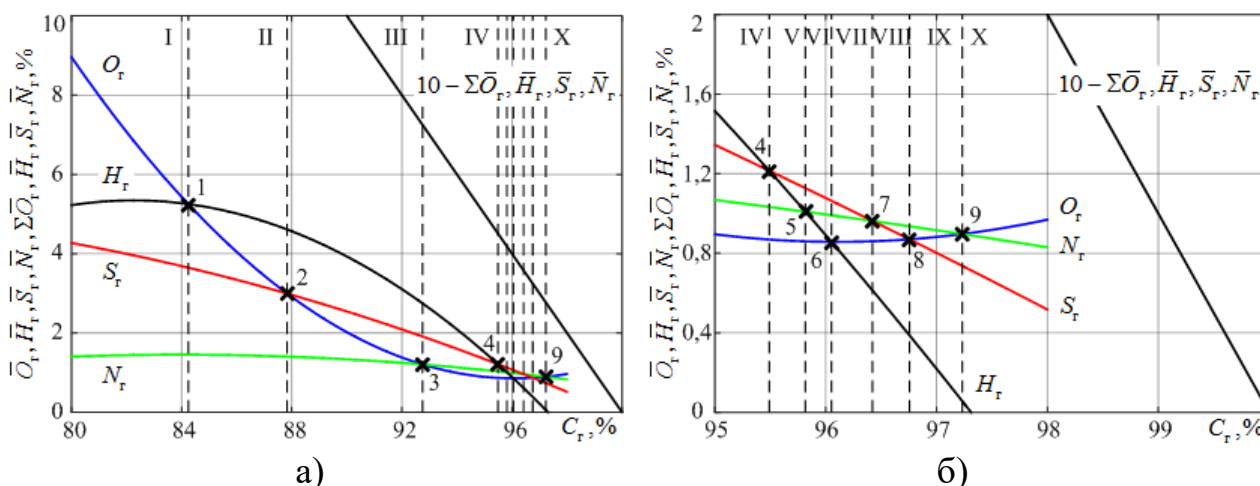


Рисунок 15 - Графіки зміни середнього вмісту основних компонентів у горючій частині палива ($\bar{O}_r, \bar{H}_r, \bar{N}_r, \bar{S}_r$) від вмісту вуглецю (C_r) на підставі статистичної обробки експериментальних даних про шахтопласти Львівсько-Волинського басейну [15] а – повний; б – збільшений.

1 ($C_r=84,24$), 2 ($C_r=87,83$), 3 ($C_r=92,75$) - точки перетину середніх кривих зміни вмісту кисню (\bar{O}_r) відповідно з воднем (\bar{H}_r), сіркою (\bar{S}_r) та азотом (\bar{N}_r) на ранніх, середніх та пізніх стадіях метаморфічних перетворень шахтопластів;

6 ($C_r=96,06$), 8 ($C_r=96,75$), 9 ($C_r=97,23$) - точки перетину середніх кривих зміни вмісту кисню (\bar{O}_r) відповідно з воднем (\bar{H}_r), сіркою (\bar{S}_r) та азотом (\bar{N}_r) на пізніх стадіях метаморфічних перетворень антрацитових шахтопластів;

4 ($C_r=95,49$), 5 ($C_r=95,81$) - точки перетину усереднюючих кривих водню (\bar{H}_r) відповідно з сіркою (\bar{S}_r) та азотом (\bar{N}_r);

7 ($C_r=96,66$) - точки перетину усереднюючих кривих сірки (\bar{S}_r) та азотом (\bar{N}_r);

10 - пряма залежність суми основних компонентів ($\Sigma\bar{O}_r, \bar{H}_r, \bar{N}_r, \bar{S}_r$) від вмісту вуглецю;

I, II, III, IV, V, VI, VII, VIII, IX, X - стадії метаморфічних перетворень шахтопластів встановлених за зміною співвідношення між середніми значеннями основних компонентів у горючій частині палива (точками перетину кривих, які описують залежності основних компонентів від вмісту вуглецю).

Координати точки, отриманої в результаті перетину двох кривих,



розрахували аналітичним шляхом, прирівнявши праві частини відповідних рівнянь (табл. 7, рис. 14). В результаті цього у всіх випадках, після відповідних перетворень отримані квадратні тричлени (поліноми другого порядку), рівні нулю. Їхнє рішення дало можливість спочатку визначити координати точок по осі абсцис (\bar{C}_r), а потім розрахувати, за відповідними емпіричними залежностями, ординати, які характеризують вміст кожного компонента (табл. 8). У якості контролю точності розрахунків згідно з рівнянням (5) для кожної точки перетину кривих визначалася сума всіх основних компонентів горючої частини палива. Максимальне відхилення від 100% в одному випадку склало 1,12%, в решті відхилення не перевищували половини відсотка, що цілком прийнятно для інженерних розрахунків.

Результатом статистичної обробки даних для аналізованої сукупності шахтопластів [15] встановлено десять характерних стадій їх метаморфічних перетворень за фактором зміни співвідношення між середніми значеннями основних компонентів горючої частини (табл. 8). Кожній стадії метаморфічних перетворень відповідає свій ряд ранжування за середнім вмістом компонентів. Ряди ранжування кожної стадії значно відрізняються між собою, що свідчить про різну схильність шахтопластів до прояву тих чи інших небезпечних властивостей. Наприклад, найбільш схильний до хімічної активності кисень, при послідовному переході від стадії I до стадії IV, він з першого місця в ряду ранжирування перемістився на останнє.

Такі переміщення позначилися і на вмісті інших компонентів. Після втрати киснем лідерства у ряду ранжування на першій стадії, на перше місце на наступних стадіях послідовно виходили показники по середньому вмісту водню (три стадії), сірки (три стадії) і азоту (дві стадії). На завершальній X стадії лідерство повернулося до середнього вмісту кисню. Такі зміни у співвідношеннях між основними компонентами свідчать про важливу роль кожного з них на стадії метаморфічних перетворень. З вказаної причини при прогнозі конкретної небезпечної властивості шахтопласту необхідно розглядати не тільки зміни вмісту вуглецю в процесі метаморфічних перетворень відповідно до рівняння (5), а й кожного основного компонента незалежно від його хімічної активності. З достатньою для прогнозу небезпечних властивостей шахтопластів точністю (близько 1,0%) середній вміст інших компонентів можна розраховувати за такими рівняннями:

$$\bar{O}_r = 100 - \Sigma \bar{C}_r, \bar{H}_r, \bar{N}_r, \bar{S}_r, \quad (6)$$

$$\bar{H}_r = 100 - \Sigma \bar{C}_r, \bar{O}_r, \bar{N}_r, \bar{S}_r, \quad (7)$$

$$\bar{N}_r = 100 - \Sigma \bar{C}_r, \bar{H}_r, \bar{O}_r, \bar{S}_r, \quad (8)$$

$$\bar{S}_r = 100 - \Sigma \bar{C}_r, \bar{H}_r, \bar{O}_r, \bar{N}_r. \quad (9)$$

Але паралельно з цим знання середніх значень компонентів не гарантує достовірне їх ранжування на кожній стадії метаморфічних перетворень шахтопластів. Перестановка в рядах ранжирування в межах кожної стадії



Таблиця 8 - Результати встановлення стадій метаморфічних перетворень шахтопластів по зміні співвідношення основних компонентів горючої частини палива на підставі статистичної обробки експериментальних даних [15]

Стадії перетворення	№№ точок перетину усереднюючих кривих і компоненти з однаковим середнім вмістом		Діапазони зміни вмісту вуглецю та суми інших компонентів, %		Середній вміст основних компонентів у горючій частині палива та їх можливі діапазони зміни в точках перетину усереднюючих кривих, %								Ранжування компонентів за їхніми середніми значеннями в діапазонах між точками перетину усереднюючих кривих	Сума основних компонентів горючої частини, $\Sigma \bar{C}_r, \bar{O}_r, \bar{H}_r, \bar{S}_r, \bar{N}_r, \%$	
	№№ точок (рис.15)	компонент перетнув. кривих	C_r	$\Sigma O_r, H_r, S_r, N_r$	\bar{C}_r	кисень		водень		сірка		азот			
						\bar{O}_r	$\bar{O}_r \pm 1,21^*$	\bar{H}_r	$\bar{H}_r \pm 0,46^*$	\bar{S}_r	$\bar{S}_r \pm 1,23^*$	\bar{N}_r			$\bar{N}_r \pm 0,40^*$
I	1	O_r, H_r	<84,24	>15,76	84,24	5,18	3,97÷ 6,39	5,18	4,72÷ 5,64	3,59	2,36÷ 4,82	1,45	1,05÷ 1,85	$\bar{O}_r, \bar{H}_r, \bar{S}_r, \bar{N}_r$	99,64
II	2	O_r, S_r	84,24÷ 87,83	15,76÷ 12,17	87,83	2,89	1,68÷ 4,10	4,61	4,15÷ 5,07	2,89	1,66÷ 4,12	1,40	1,00÷ 1,80	$\bar{H}_r, \bar{O}_r, \bar{S}_r, \bar{N}_r$	99,62
III	3	O_r, N_r	87,83÷ 92,75	12,17÷ 7,25	92,75	1,12	0,00÷ 2,33	2,75	2,29÷ 3,21	1,85	0,62÷ 3,08	1,12	0,72÷ 1,52	$\bar{H}_r, \bar{S}_r, \bar{O}_r, \bar{N}_r$	99,59
IV	4	H_r, S_r	92,75÷ 95,49	7,25÷ 4,51	95,49	0,69	0,00÷ 1,90	1,18	0,72÷ 1,64	1,18	0,00÷ 2,41	1,03	0,63÷ 1,43	$\bar{H}_r, \bar{S}_r, \bar{N}_r, \bar{O}_r$	98,88
V	5	H_r, N_r	95,49÷ 95,81	4,51÷ 4,19	95,81	0,68	0,00÷ 1,89	1,01	0,55÷ 1,47	1,06	0,00÷ 2,29	1,01	0,61÷ 1,41	$\bar{S}_r, \bar{H}_r, \bar{N}_r, \bar{O}_r$	99,57
VI	6	O_r, H_r	95,81÷ 96,05	4,19÷ 3,95	96,05	0,77	0,00÷ 1,98	0,77	0,31÷ 1,23	0,99	0,00÷ 2,22	0,99	0,59÷ 1,39	$\bar{S}_r, \bar{N}_r, \bar{H}_r, \bar{O}_r$	99,57
VII	7	S_r, N_r	96,05÷ 96,66	3,95÷ 3,34	96,66	0,68	0,00÷ 1,89	0,45	0,00÷ 0,91	0,88	0,00÷ 2,11	0,88	0,48÷ 1,28	$\bar{S}_r, \bar{N}_r, \bar{O}_r, \bar{H}_r$	99,55
VIII	8	O_r, S_r	96,66÷ 96,75	3,34÷ 3,25	96,75	0,74	0,00÷ 1,95	0,39	0,00÷ 0,85	0,74	0,00÷ 1,97	0,93	0,53÷ 1,33	$\bar{N}_r, \bar{S}_r, \bar{O}_r, \bar{H}_r$	99,55
IX	9	O_r, N_r	96,75÷ 97,23	3,25÷ 2,77	97,23	0,80	0,00÷ 2,01	0,06	0,00÷ 0,52	0,66	0,00÷ 1,89	0,80	0,40÷ 1,20	$\bar{N}_r, \bar{O}_r, \bar{S}_r, \bar{H}_r$	99,55
X	-	-	>97,23	<2,77	-	-	-	-	-	-	-	-	-	$\bar{O}_r, \bar{N}_r, \bar{S}_r, \bar{H}_r$	-

Примітка: * - середньоквадратичні відхилення від усереднюючих кривих відповідно до значень вмісту кисню, водню, сірки та азоту для аналізованої сукупності шахтопластів



метаморфічних перетворень може бути викликана індивідуальними відхиленнями показників від усереднюючих ліній. Вони характеризуються, певною мірою, середньоквадратичними відхиленнями від усереднюючих кривих. Середньоквадратичні відхилення (σ) від усереднюючих кривих визначені для кожного основного компонента (рис. 14, табл. 7), що дозволило встановити орієнтовні діапазони зміни кожного основного компонента в точках перетину усереднюючих кривих (табл. 8). Індивідуальні коливання вмісту основних компонентів, в відокремлених діапазонах їхнього метаморфізму, можуть змінювати ієрархічні ряди ранжирування по усереднюючим кривими. Наприклад, діапазон зміни кисню для точки 1 (рис. 15, табл. 8) знаходиться в межах 3,97-6,39%; водню 4,72÷5,64%; сірки 2,36÷482%. Будь-який з цих компонентів для окремого шахтопласту може перебувати на першому місці у фактичному ряду ранжирування, який значною мірою може відрізнитися від ряду ранжирування по усереднюючим кривим. На цій стадії метаморфічних перетворень тільки азот за діапазоном його можливого вмісту (1,05÷1,85%) не може перебувати на першому місці в ряду ранжирування. Така картина можливих співвідношень між вмістом окремих компонентів різко змінюється на пізніх стадіях метаморфізму (VIII, IX), коли азот навіть по усереднюючим кривим знаходиться на першому місці в ряду ранжирування. Це пояснюється відносно високою сталістю вмісту азоту на всіх стадіях метаморфічних перетворень шахтопластів та схильністю інших компонентів до їх значного скорочення при посиленні метаморфізму.

Розглянуті приклади свідчать, що співвідношення між основними компонентами горючої (органічної) маси окремих шахтопластів генетично носять випадковий характер. З цієї причини розглядаючи середні показники зміни елементного вмісту компонентів при метаморфічних процесах неможливо достовірно прогнозувати прояв небезпечних властивостей конкретного шахтопласту при веденні гірських робіт.

Розглядаючи одну з можливих сторін метаморфічних перетворень, пов'язану із зміною елементного вмісту основних компонентів у горючій (органічній) масі, необхідно індивідуально враховувати фактичне співвідношення між усіма компонентами кожного шахтопласту. Це дає можливість оцінювати хімічну активність шахтопластів та пов'язаний з нею прояв деяких небезпечних властивостей під час гірничих робіт.

До другої можливої сторони метаморфізму, яка впливає на прояв небезпечних властивостей шахтопластів, відносяться зміни у структурі та фізико-механічні властивості викопного вугілля. Для їхньої характеристики необхідний зовсім інший додатковий комплекс показників, пов'язаних з конкретним видом прояву небезпечної властивості.



Висновки

Проведені дослідження показали великий багатофакторний вплив метаморфічних процесів, як на зміну елементного складу горючої (органічної) маси вихідної речовини, так і його фізико-механічні властивості. Такий спектр змін у складі та властивостях викопного вугілля при метаморфізмі шахтопластів неможливо характеризувати, як це представлено в нормативних документах [4-8], практично одним показником - виходом летких речовин при термічній деструкції палива. Це вказує на необхідність удосконалення нормативної бази щодо безпечного ведення гірничих робіт. При внесенні необхідних коригувань пропонується враховувати встановлені особливості зміни в елементному складі та властивості вугілля при метаморфічних перетвореннях шахтопластів. Вони полягають у наступному:

- один показник метаморфізму, навіть самий універсальний, не може достовірно та всебічно характеризувати зміну співвідношення всіх компонентів горючої (органічної) маси та її властивості;

- при визначенні типу відновленості кам'яного вугілля та однотипності пар шахтопластів не встановлено чітких меж вмісту основних компонентів органічної маси, виходу золи та вмісту загальної сірки. Згідно з діючою методикою вміст загальної сірки та вихід золи більшою мірою впливають на визначення однотипності пар шахтопластів за їх відновленістю порівняно з впливом вмісту кисню. Кількісно така відмінність між впливом зазначених факторів оцінюється у два-три та більше разів. Це свідчить про недоліки чинної методики;

- відсутня логіка у підходах до вибору показників метаморфізму кам'яного вугілля та антрацитів. При більш складній хімічній будові кам'яного вугілля (наявність виходу смоли, бензолу, ненасичених сполук) враховується лише загальний масовий вихід летких речовин без ідентифікації газів, які виділяються. При визначенні відновленості антрацитів та його більш простій хімічній будові робиться ідентифікація газів. Ступінь відновленості визначається відношенням складу водневмісних та кисневмісних сполук (коефіцієнтом відновленості). Як і у разі встановлення однотипності кам'яного вугілля за їх відновленістю, так і для антрацитових шахтопластів є невизначеності у співвідношеннях між впливаючими факторами;

- не встановлено суттєвих відмінностей між однотипними та різнотипними антрацитовими шахтопластами по діапазону зміни об'ємного виходу летких речовин та за вмістом основних компонентів органічної маси, а також за питомою вагою та логарифмом питомого електроопору;

- показники коефіцієнта відновленості та питомої ваги органічної маси покладено в основу визначення однотипності або різнотипності антрацитових шахтопластів, але за зазначеними критеріями немає відчутних відмінностей між цими шахтопластами;

- вміст вуглецю більш надійно, порівняно з масовим та об'ємним виходом летких речовин, визначає вміст кисню на всіх стадіях метаморфічних перетворень як кам'яного вугілля, так й антрацитів;



– використання вмісту вуглецю в органічній масі в якості показника метаморфічних перетворень шахтопластів замість виходу летких речовин усуває невідповідність правилу Хільта про вплив стратиграфічної глибини залягання пластів;

– при визначенні типів кам'яного вугілля та антрацитів за їх відновленості діючою методикою враховується лише вміст кисню, а зміна вмісту інших компонентів не береться до уваги, що призводить до незрозумілих максимальних відхилень від усереднюючих ліній. Незалежно від індивідуального співвідношення між основними компонентами органічної маси, їх сума у всіх випадках практично дорівнює 100%;

– при складанні вуглехімічної карти встановлено невідповідність вмісту кисню ні ступеню метаморфічних перетворень шахтопластів, як передбачалося авторами, а значенням виходу летких речовин. Показник виходу летких речовин переважно відноситься до показників якості палива, а не до критеріїв оцінки метаморфічних перетворень шахтопластів;

– на стадії ізометаморфних антрацитів елементний вміст основних компонентів органічної маси малою мірою визначають їх фізико-механічні властивості;

– показники масового виходу летких речовин та вміст вуглецю одноосібно не характеризують товщину пластичного шару;

– перевага об'ємного виходу летких речовин перед вмістом вуглецю полягає у вищій точності характеристики фізико-електромеханічних властивостей антрацитів. Це свідчить, що при прогнозі небезпечних властивостей шахтопластів крім вмісту та співвідношення між собою основних компонентів органічної маси необхідно додатково розглядати показники, що характеризують фізико-механічні властивості кам'яного вугілля та антрацитів;

– вміст органічної сірки генетично відноситься лише до органічної маси, тому при прогнозі небезпечних властивостей шахтопластів її вміст необхідно розглядати спільно з рештою основних компонентів, що не було зроблено при складанні вуглехімічної карти;

– коливання вмісту органічної сірки для аналізованої сукупності шахтопластів повністю перекривають різницю за середнім вмістом основних компонентів між однотипним та різнотипним кам'яним вугіллям, а також між антрацитами, нібито різних типів;

– кожна точка перетину двох усереднюючих кривих, які характеризують індивідуальну зміну середніх значень вмісту основних компонентів у горючій частині палива, свідчить про зміну співвідношення в елементному складі між компонентами, що розглядаються. Показники співвідношення вмісту між двома точками перетину усереднюючих кривих вказують на можливу близькість шахтопластів щодо прояву їх небезпечних властивостей;

– за результатами статистичної обробки експериментальних даних для аналізованої сукупності шахтопластів встановлено у першому наближенні десять характерних стадій їх метаморфічних перетворень за фактором зміни співвідношення між середніми значеннями основних компонентів горючої частини палива;



– зміни у співвідношеннях між вмістом основних компонентів відіграють важливу роль на кожній стадії метаморфічних перетворень. При прогнозі конкретної небезпечної властивості шахтопласту необхідно розглядати не тільки зміну вмісту вуглецю у процесі метаморфічних перетворень, а й кожного основного компонента, незалежно від його хімічної активності;

– знання середніх значень основних компонентів не гарантує достовірне їх ранжування на кожній стадії метаморфічних перетворень шахтопластів. Перестановки у рядах ранжирування в межах однієї стадії можуть бути викликані індивідуальними відхиленнями показників від усереднюючих ліній;

– співвідношення між вмістом основних компонентів генетично носять випадковий характер для сукупності шахтопластів і суто закономірний індивідуальний характер для шахтопласту, який розглядається окремо;

– розглядаючи одну з можливих сторін метаморфічних перетворень, пов'язану зі зміною елементного вмісту основних компонентів, необхідно індивідуально враховувати фактичне співвідношення між усіма основними компонентами кожного шахтопласту.

До другої можливої сторони прояву метаморфізму, якв впливає на прояв небезпечних властивостей шахтопластів, відносяться зміни у структурі та фізико-механічних властивостях викопного вугілля. Для їхньої характеристики необхідний зовсім інший додатковий комплекс показників, пов'язаних з конкретним видом прояву небезпечної властивості.