

Є.С. Руднєв, к.т.н., доц.  
М.І. Антощенко, д.т.н., проф.  
Е.М. Філатьєва, Ph.D., доц.  
М.В. Філатьєв, д.т.н., доц.

Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля

## До питання встановлення типу шахтопластів за «відновленістю» («окисленістю») викопного вугілля

*Вихід летких речовин при термічному розкладанні вугілля та вміст кисню в органічній масі не характеризують однозначно як типи вугілля за передбачуваною відновленістю, так і прояв небезпечних властивостей шахтопластів під час гірничих робіт. Для встановлення істинних причин зміни властивостей шахтопластів у процесі метаморфічних перетворень та появи схильності до виникнення небезпечних властивостей необхідно враховувати зміну співвідношення між усіма основними компонентами органічної маси (вуглецем, киснем, воднем, сіркою та азотом) та не обмежуватися розглядом вмісту лише кисню та загальної сірки. Доведено, що різний вміст кисню в органічній масі за однакового ступеня метаморфічних перетворень шахтопластів не є наслідком їх відновленості. Це пов'язано з різним вихідним співвідношенням між основними компонентами на попередніх стадіях вуглеутворення. Методика проведення досліджень базується на статистичній обробці відомих експериментальних даних, одержаних практично для всіх шахтопластів Донбасу та Львівсько-Волинського басейну. Проведені дослідження показали великий багатофакторний вплив метаморфічних процесів як на зміну елементного складу горючої (органічної) маси вихідної речовини, так і на його фізико-механічні властивості. Такий спектр змін у складі та властивостях викопного вугілля при метаморфізмі шахтопластів неможливо характеризувати, як це представлено в нормативних документах, 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.*

**Ключові слова:** шахтопласти; відновленість; вугілля; кисень; метаморфізм; вміст вуглецю; сірка; гірничі роботи; безпека; нормативна база; удосконалення.

**Проблема та її зв'язок з науковими й практичними завданнями.** Встановлення справжніх причин у відмінності елементного вмісту кисню та інших основних компонентів в органічній масі має важливе науково-практичне значення як для розвитку шахтної геології, так і для виробничої діяльності підприємств з видобутку вугілля. Нині для прогнозу небезпечних властивостей вугільних шахтопластів (газовиділення, раптові викиди вугілля та газу, виникнення ендегенних пожеж тощо) використовується практично один показник – вихід летких речовин  $V^{daf}$ . Цей показник з об'єктивних причин неспроможний всебічно й однозначно характеризувати умови прояву, різних за своєю природою, небезпечних властивостей під час гірничих робіт. Враховуючи виявлені невизначеності у питаннях встановлення типу шахтопластів та використання одного показника для прогнозу різноманітних небезпечних властивостей, науково-дослідні роботи, пов'язані з вивченням зміни складу та властивостей вугілля під впливом метаморфічних перетворень, є дуже актуальними.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Термін «відновленість» та «окисленість» викопного вугілля були вперше введені для характеристики їх споживчих якостей [1]. Необхідність розгляду таких понять була викликана тим, що при рівній мірі метаморфічних перетворень шахтопластів вугілля з меншим вмістом кисню відрізнялося більш високим спіканням, розчинністю у вуглеводнях та теплотою згоряння. Як однозначний критерій метаморфічних перетворень у цей період був обраний вихід летких речовин при термічному розкладанні вугілля без доступу повітря ( $V^{daf}$ ).

Відмінності споживчих властивостей пояснювалися генетичними відмінностями у типах вугілля. Було запропоновано виділяти чотири типи вугілля: тип «а» – вугілля маловідновлене; тип «б» – проміжне; тип «в» – відновлене; тип «вв» – дуже відновлене.

Вважалося, що мінеральна частина вугілля також знаходиться у зв'язку зі складом і властивостями органічної маси. Вугілля з меншим вмістом кисню і більш високим спіканням, як правило, відрізнялося вищим вмістом сірки та переважанням у складі золи основних оксидів ( $Fe_2O_3 + CaO + MgO$ ) заліза. Таке припущення про вплив мінеральних домішок на відновленість вугілля та залежність його типів від вмісту загальної сірки не підтверджується через досить високу тісноту кореляційного зв'язку  $S_t^d$  та

сумою зазначених оксидів у складі золи (рис. 1). Для аналізованої вибірки (41 шахтопласт) загальний вміст сірки перебував у діапазоні від 0,90 до 5,52 %. При середньоквадратичному відхиленні 1,05 % і дотриманні правила «трьох сигм» значення загальної сірки, з високою ймовірністю, 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, що ставить під сумнів високий рівень її взаємозв'язку із вмістом основних компонентів органічної маси.

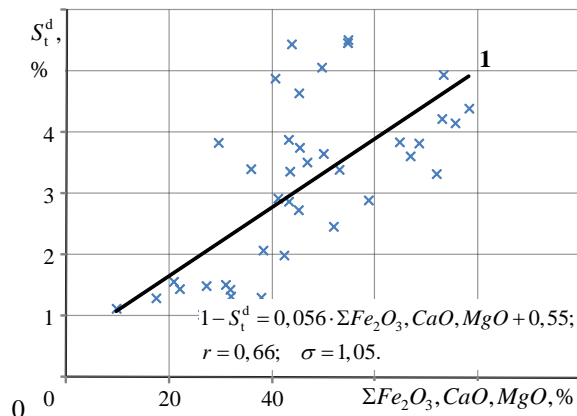


Рис. 1 Залежність вмісту загальної сірки ( $S_t^d$ ) від суми основних оксидів  $\Sigma Fe_2O_3 + CaO + MgO$  у складі золи. (1 – усереднююча пряма; × – експериментальні дані [1];  $r$  – коефіцієнт кореляції;  $\sigma$  – середньоквадратичне відхилення)

Відповідно до розробленої методики [1] тип кам'яного вугілля по відновленості визначається на підставі порівняння для двох шахтопластів виходу легких речовин ( $V^{daf}$ ) та вмісту кисню в органічній речовині ( $O^o$ ). Додатковими показниками відновленості вважаються показники вмісту загальної сірки ( $S_t^d$ ) та основних оксидів у золі. До однотипних зараховували шахтопласти, для яких при приблизно рівних значеннях  $V^{daf}$ , вміст кисню і показники вмісту загальної сірки та основних оксидів у золі ( $Fe_2O_3, CaO, MgO$ ) також незначно різнилися.

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

Конкретні допустимі відмінності у значеннях показника  $V^{daf}$  не були визначені, при яких два порівнювані шахтопласти можна було зарахувати до одного ступеня метаморфічних перетворень. Не встановлено також допустимі відмінності у вмісті кисню, за якими шахтопласти слід відносити до однотипних або різнотипних.

Відсутність конкретності у встановленні однотипності або різнотипності шахтопластів вказує на недоліки методики в частині таких визначень. Попередній аналіз показав, що причинами невизначеності встановлення генетичних типів вугілля може бути недостатньо науково обґрунтовані положення, прийняті при розробці методик [1]. До основних із них належать:

- вихід легких речовин, враховуючи методи визначення, не відповідає класичній (загальноприйнятій) характеристиці метаморфізму як зміни складу та властивостей вугілля у процесі геологічних перетворень шахтопластів [2–4]. Один показник, навіть найуніверсальніший, не може достовірно та всебічно характеризувати зміну співвідношення всіх компонентів органічної маси та її властивостей під впливом метаморфічних процесів;

- метаморфізм та термічне розкладання є різними стадіями його перетворення. Кількісний та якісний склад легких речовин, які утворюються, при термічному розкладанні не має прямого відношення до метаморфічних процесів, що відбувалися раніше в природних умовах, за яких вже була видалена частина газоподібних продуктів. Термічна деструкція є наслідком нового (чергового) штучного етапу перетворення вихідної органічної речовини, піднятої на земну поверхню [5];

- використовуючи як показник метаморфізму вихід легких речовин, не вдалося підтвердити виконання правила Хільта для багатьох шахтопластів. Відповідно до цього зі збільшенням стратиграфічної глибини залягання пласта показник виходу легких речовин у вугіллі має знижуватися [1];

- до складу органічної маси входять п'ять основних компонентів: вуглець, кисень, водень, азот, органічна сірка, а при встановленні однотипності шахтопластів враховується лише вміст кисню;

- органічна сірка не розглядалася як генетична складова органічної маси;

- відсутня логіка у встановленні однотипності кам'яновугільних та антрацитових шахтопластів.

Для кам'яного вугілля, хімічно складнішого по відношенню до антрацитів, обирається один показник – масовий вихід легких речовин ( $V^{daf}$ ) без ідентифікації газів, які виділяються при термічному розкладанні.

При більш простій хімічній будові антрацитів проводиться ідентифікація газів, які виділяються при термічному розкладі, додатково залучаються показники питомої ваги та логарифм питомого електроопору;

- мінеральні домішки, які визначаються орієнтовно по виходу золи, не є показниками метаморфічних перетворень вугілля. Для часткового усунення впливу мінеральних домішок на споживчі якості палива попередньо проводиться збагачення вугілля до виходу золи, як правило, менше 10 % [6];

- для прогнозу небезпечних властивостей вугільних шахтопластів (газовиділення, раптові викиди вугілля та газу, виникнення ендегенних пожеж тощо) використовується практично один показник – вихід летких речовин  $V^{daf}$  [1–7]. Цей показник з об'єктивних причин неспроможний всебічно й однозначно характеризувати умови прояву, різних за своєю природою, небезпечних властивостей під час гірничих робіт.

**Ідея** – вихід летких речовин при термічному розкладанні вугілля та вміст кисню в органічній масі не характеризують однозначно як типи вугілля за передбачуваною відновленістю, так і прояв небезпечних властивостей шахтопластів під час гірничих робіт. Для встановлення істинних причин зміни властивостей шахтопластів у процесі метаморфічних перетворень та появи схильності до виникнення небезпечних властивостей необхідно враховувати зміну співвідношення між усіма основними компонентами органічної маси (вуглецем, киснем, воднем, сіркою та азотом) та не обмежуватися розглядом вмісту лише кисню й загальної сірки.

**Мета роботи** – на підставі досвіду встановлення якості палива, накопиченого протягом кількох десятиліть, довести, що різний вміст кисню в органічній масі при однаковому ступені метаморфічних перетворень шахтопластів не є наслідком їх відновленості, а що це пов'язано з різним вихідним співвідношенням між основними компонентами на попередніх стадіях вуглеутворення. Процесам метаморфізму передували стадії осадконакопичення, торфоутворення та діагенезу (утворення бурого вугілля). Досягнувши поставленої мети, з'являється перспектива вдосконалення нормативних документів щодо безпечного ведення гірничих робіт.

**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 [1], а в нормативно-довідкових документах щодо якості вугілля [12, 13] є дані про основні компоненти в горючій частині палива.

**Викладення основного матеріалу.** Як альтернативний критерій метаморфізму по відношенню до виходу летких речовин прийнятий, в першому приближенні, показник вмісту вуглецю  $C^o(C_r)$  в органічній (горючій) масі палива. Такий вибір альтернативного показника ґрунтується на тому, що під час прогнозування прояву небезпечних властивостей шахтопластів показник вмісту вуглецю має певну перевагу перед іншими [14]. Вони полягають у:

- 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  $C^o(C_r)$  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.

Для більш детального вивчення точності застосування методу визначення типу вугілля по відновленості шахтопластів, додатково до показників  $V^{daf}$  та вмісту кисню в органічній масі ( $O^o$ ), залучили інші критерії такої оцінки. Як додаткові критерії розглянули зміну вмісту вуглецю ( $C^o$ ), водню ( $H^o$ ) та азоту ( $N^o$ ) в органічній масі, а також вміст загальної сірки ( $S_r^d$ ), вихід золи ( $A^o$ ) і товщину пластичного шару ( $\nu$ ). Для всіх пар порівнюваних шахтопластів розраховували абсолютні та відносні відхилення між зазначеними показниками (табл. 1). Для однотипних шахтопластів у вуглехімічній карті [1] 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 [12, 13] 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 для різнотипних вони змінювались 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 ( $C^o$ ) для



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 такому випадку однотипні пари шахтопластів характеризувалися, 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 [1] як основні критерії ступеня метаморфічних перетворень приймалися вихід летких речовин ( $V^{daf}$ ) та вміст кисню ( $O^o$ ) на умовно органічну масу. Вплив інших факторів враховувався орієнтовно без зазначення кількісних значень.

Середнє значення  $V^{daf}$  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 20 %. Відношення середнього значення показника  $V^{daf}$  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 ( $\bar{N}^o$ ) та товщиною пластичного шару ( $\gamma$ ). Практичних відмінностей не встановлено за середнім вмістом вуглецю ( $\bar{C}^o$ ) та водню ( $\bar{H}^o$ ).

Згідно з середніми значеннями передбачуваних показників метаморфізму кам'яного вугілля та їх якостей, головними факторами, які визначають однотипність пар шахтопластів згідно з [1], є вміст загальної сірки та вихід золи (табл. 2). Їх вплив на відновленість, виходячи зі співвідношення середніх показників (відповідно 0,65 та 0,47), набагато сильніший порівняно 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 за зразкової індивідуальної 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 [1]. 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. Через зазначені причини про ступінь відновленості худого вугілля, яке не спікається, та антрацитів було використано [1] співвідношення водню та кисню в газі термічного розкладання ( $k_g$ ). 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:

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

Зміна коефіцієнта відновленості залежно від ступеня метаморфізму, що визначається об'ємним виходом летких речовин ( $V^{daf}$ ), відбувається досить в широкому інтервалі ( $7 \div 49$ ) при одному значенні  $V^{daf}$  [1]. На підставі цих даних однотипними вважалися ті антрацити, які при рівній мірі метаморфізму (значенні  $V^{daf}$ ) і деяких інших показників (питомій вазі органічної маси  $k_o$  та питомому електроопору  $I_{gp}$ ) мають і однакові або близькі значення  $k_g$ .

Різнотипними вважаються ті антрацити, які при рівній мірі метаморфізму ( $V^{daf}$ ) та однакових показниках  $k_o$  та  $I_{gp}$ , мають значення, які різко відрізняються  $k_g$  [1]. Як і у випадку встановлення однотипності кам'яного вугілля за їх відновленістю, так і для антрацитових шахтопластів також спостерігаються невизначеності у співвідношенні між факторами, що впливають. З цієї причини також розглянули абсолютні та відносні відхилення між показниками для пар шахтопластів, що характеризують ізометаморфні однотипні та різнотипні антрацити (табл. 3).

Таблиця 2

Узагальнені результати визначення абсолютних та відносних відхилень між вмістом основних компонентів органічної маси та деякими споживчими якостями вугілля для пар шахтопластів згідно з [1]

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 показниками типів вугілля по відновленості пар пластів	Відношення середніх значень показників різнотипних шахтопластів до однотипних, рази
		однотипні	різнотипні		
1	2	3	4	5	6
Вихід летких речовин, $V^{daf}$ , %	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, $\Delta V_{max}^a$	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, $\Delta V_{max}^o$	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, $\Delta C_{max}^a$	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, $\Delta C_{max}^o$	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, $\Delta O_{max}^a$	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, $\Delta O_{max}^o$	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, $\Delta H_{max}^a$	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, $\Delta H_{max}^o$	9,00	21,16	12,16	2,35
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, $\Delta N_{max}^a$	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, $\Delta N_{max}^o$	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, $\Delta S_{max}^a$	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, $\Delta S_{max}^o$	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, $\Delta y_{amax}$	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, $\Delta y_{omax}$	33,30	190,00	156,70	5,70

1	2	3	4	5	6
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

У встановленні типів відновленості кам'яного вугілля та антрацитів згідно з [1] відсутня логіка у виборі показників метаморфізму шахтопластів. Для кам'яного вугілля, хімічно складнішого по відношенню до антрацитів, береться 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 логарифма питомого електроопору ( $lgr$ ).

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  $V_V^{daf}$  [1].

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 [1]

№ проби	Індекс пластів	Вихід летких речовин			Питома вага органічної маси			Логарифм питомого електроопору			Коефіцієнт відновленості			Вміст загальної сірки			Елементарний склад на умовну органічну масу																										
		$K_1^{daf}$	$\Delta V_3$	$\Delta V_0$	$k_d$	$\Delta k_{22}$	$\Delta k_{20}$	$lgr$	$\Delta lgr_1$	$\Delta lgr_0$	$k_8$	$\Delta k_{22}$	$\Delta k_{20}$	$S_d^1$	$\Delta S_1$	$\Delta S_0$	вміст вуглецю				вміст водню				вміст азоту				вміст кисню														
		см <sup>3</sup> /г	см <sup>3</sup> /г	см <sup>3</sup> /г										%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%									
<b>Ізометаморфні однотипні антрацити</b>																																											
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																				
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																				
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																
<b>Ізометаморфні антрацити різних типів</b>																																											
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																				
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																				
4261	$k_5^2$	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			1,07																				
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 широких межах зміни вагового виходу летких речовин від 46 до 9 % об'ємний вихід газу змінюється досить незначно, зменшуючись від 295 до 270 см<sup>3</sup>/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 %, –  $V^{daf}$  змінюється у дуже широких межах, знижуючись від 270 до 60 см<sup>3</sup>/г. Отримані закономірності у зміні об'ємного виходу привели до таких висновків [1]:

– 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 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 ( $C^o$ ) відповідно знаходився в інтервалах  $93,89 \div 96,56 \%$  і  $94,54 \div 97,41 \%$ ; кисню ( $O^o$ ) –  $0,18 \div 2,76 \%$  та  $0,21 \div 2,64 \%$ ; водню ( $H^o$ ) –  $1,17 \div 2,17 \%$  та  $1,00 \div 2,58 \%$ ; азоту ( $N^o$ ) –  $0,83 \div 1,98 \%$  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 ( $k_o$ ) та логарифма питомого електроопору ( $lg\rho$ ). Для питомої ваги вони відповідно становлять  $1,364 \div 1,551 \text{ см}^3/\text{г}$  та  $1,364 \div 1,585 \text{ см}^3/\text{г}$ , а для логарифма питомого електроопору –  $1,31 \div 5,82$  та  $0,59 \div 5,40$ . Виходячи з приблизно однакових діапазонів зміни розглянутих показників ( $V_V^{daf}$ ,  $C^o$ ,  $O^o$ ,  $H^o$ ,  $N^o$ ,  $k_o$ ,  $lg\rho$ ), основними, за встановлення однотипності або різнотипності антрацитових шахтопластів, були показники вмісту загальної сірки  $S_r^d$  та коефіцієнти відновленості  $k_e$ . Згідно з крайніми значеннями цих показників, суттєво відрізнялися діапазони їх зміни для однотипних та різнотипних антрацитових шахтопластів. Зміна вмісту загальної сірки ( $S_r^d$ ) відповідно для однотипних та різнотипних шахтопластів знаходилася в межах  $0,87 \div 2,25 \%$  та  $1,14 \div 6,25 \%$ , а граничні значення коефіцієнтів відновленості ( $k_e$ ) 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) зведено в таблицю 4.

Таблиця 4

Узагальнені результати визначення абсолютних та відносних відхилень між вмістом основних компонентів органічної маси та деякими споживчими якостями антрацитів для пар шахтопластів [1]

Передбачувані показники метаморфізму антрацитів та їх якостей	Показники однотипності пар шахтопластів за критерієм їхньої відновленості	Кількісні значення показників ізометаморфних антрацитів		Середня різниця між показниками типів антрацитів по відновленості	Відношення середніх значень показників різнотипних шахтопластів до однотипних, рази
		однотипні	різнотипні		
1	2	3	4	5	6
Об'ємний вихід летких речовин, $V_V^{daf}$ , $\text{см}^3/\text{г}$	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, $\Delta V_{\max}^a$	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, $\Delta V_{\max}^o$	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, $\Delta C_{\max}^a$	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, $\Delta C_{\max}^o$	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, $\Delta O_{\max}^a$	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, $\Delta O_{\max}^o$	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, $\Delta H_{\max}^a$	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, $\Delta H_{\max}^o$	73,50	38,37	-35,13	0,52



1	2	3	4	5	6
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, $\Delta N_{\max}^a$	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, $\Delta N_{\max}^o$	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, $\Delta S_{\max}^a$	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, $\Delta S_{\max}^o$	41,51	64,00	22,49	1,54
Коефіцієнт відновленості, $k_e$	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, $\Delta k_{\max}^a$	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, $\Delta k_{\max}^o$	15,3	67,0	51,70	4,38
Питома вага органічної маси, $k_o$ , г/см <sup>3</sup>	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, $\Delta k_{d\max}^a$	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, $\Delta k_{d\max}^o$	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

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

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

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

Максимальні невідповідності встановлені між середніми значеннями вмістом кисню (відмінності у 0,69 раза) та логарифмом питомого електроопору (у 0,74 раза). Виходячи з логіки визначення однотипності шахтопластів, менші значення показників мають сприяти близькості пар шахтопластів, тому що в цьому випадку зменшується ймовірність варіації аналізованих показників. У разі розгляду середніх значень вмісту кисню та логарифма питомого електроопору зазначена логіка не підтвердилася. Їхні середні значення для сукупності однотипних шахтопластів суттєво перевищували середні значення для різнотипних антрацитів.

Відповідно до [1] 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 [1]			
	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
$\Sigma$	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 чітко дорівнювала 100 %, а для різнотипних вона відрізнялася від 100 % всього на 0,02 %. Для антрацитових шахтопластів відмінності суми основних компонентів від 100 % 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 10 %. 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 порівняно 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 [1] зразкова рівність вмісту кисню в органічній масі за однакового ступеня 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.

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 більш слабкої кореляційної залежності вмісту кисню від  $V_V^{daf}$  (рис. 2, а) та її відсутності для  $V_V^{daf}$  (рис. 2, б). Залежність скорочення вмісту кисню при посиленні метаморфічних перетворень (зростанні  $C_o$ ) на усіх стадіях характеризується (рис. 2, 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 [1] 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  $C_o$  невідповідності правилу Хільта усуваються.

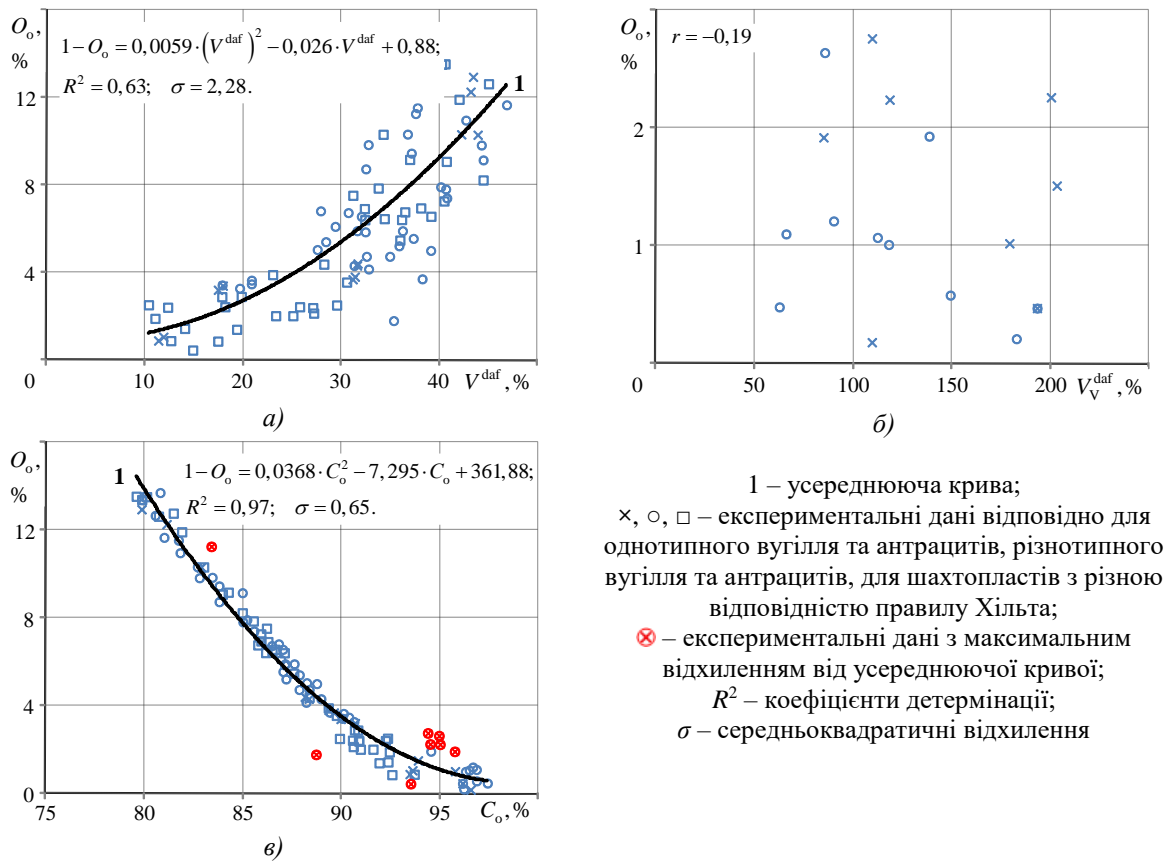
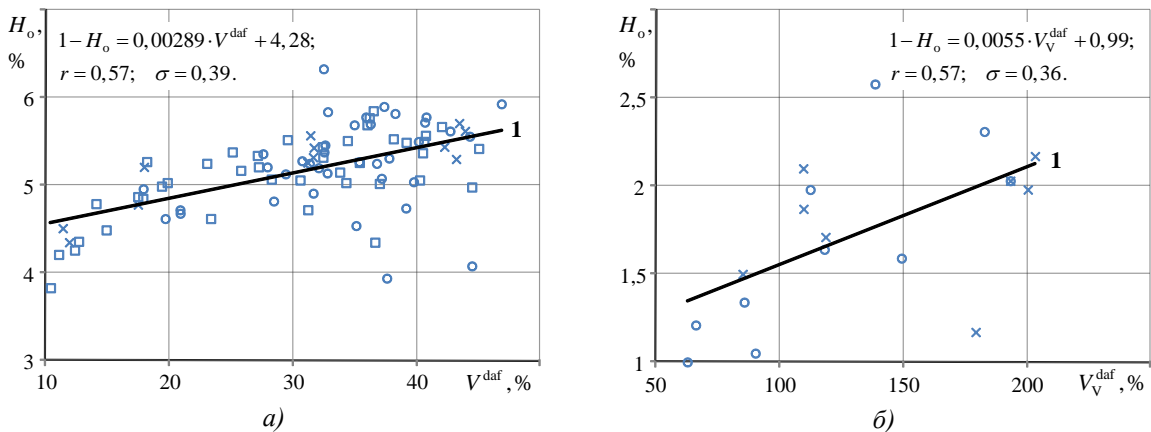
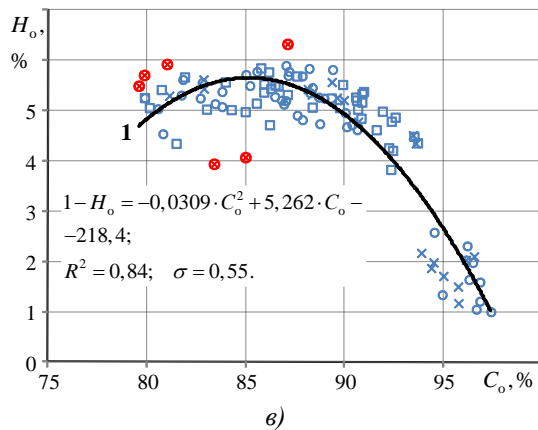


Рис. 2. Залежність вмісту кисню в органічній масі ( $O_o$ ) від вагового виходу ( $V^{daf}$ ) летких речовин (а), об'ємного виходу ( $V_V^{daf}$ ) летких речовин (б) та від вмісту ( $C_o$ ) вуглецю (в) згідно з даними [1]

Приймаючи як показник метаморфізму вміст вуглецю замість виходу летких речовин, можна довести не лише справедливості правила 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. 3–4).

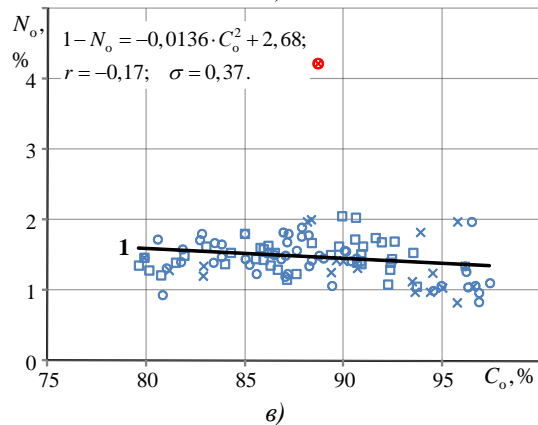
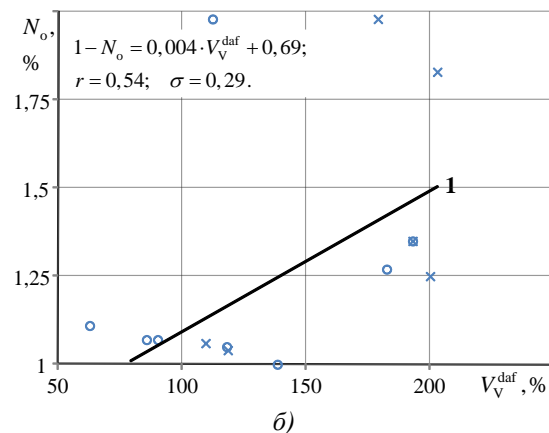
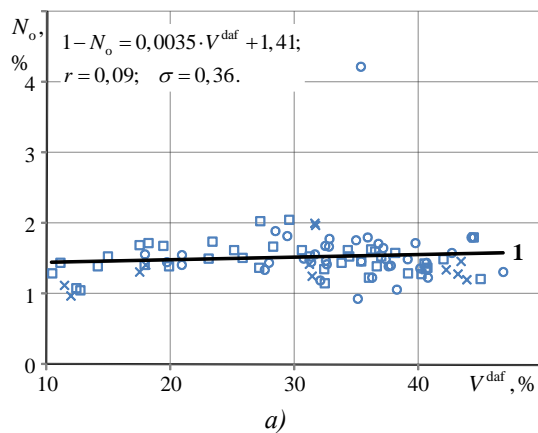
Показники  $V^{daf}$  та  $V_V^{daf}$ , порівняно з  $C_o$ , по різному характеризують зміну вмісту водню ( $H^o$ ) по мірі посилення впливу процесів метаморфізму. Для показників  $V^{daf}$  та  $V_V^{daf}$  встановлено слабку прямо-пропорційну залежність (рис. 3, а і б).





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;  
 $\sigma$  – середньоквадратичні відхилення

Рис. 3. Залежність вмісту водню в органічній масі ( $H_o$ ) від вагового виходу ( $V^{daf}$ ) летких речовин (а), об'ємного виходу ( $V_V^{daf}$ ) летких речовин (б) та від вмісту ( $C_o$ ) вуглецю (в) згідно з даними [1]



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;  
 $\sigma$  – середньоквадратичні відхилення

Рис. 4. Залежність вмісту азоту в органічній масі ( $N_o$ ) від вагового виходу ( $V^{daf}$ ) летких речовин (а), об'ємного виходу ( $V_V^{daf}$ ) летких речовин (б) та від вмісту ( $C_o$ ) вуглецю (в) згідно з даними [1]

Коефіцієнти кореляції ( $r$ ) в обох випадках дорівнюють 0,57. Зміна ж вмісту водню від вуглецю відбувається за нелінійною залежністю (рис. 3, 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 і від вмісту вуглецю (рис. 4). 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. 4, 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. 5, а). Не виявлений також певний взаємозв'язок між вмістом вуглецю та об'ємним виходом летких речовин (рис. 5, б).

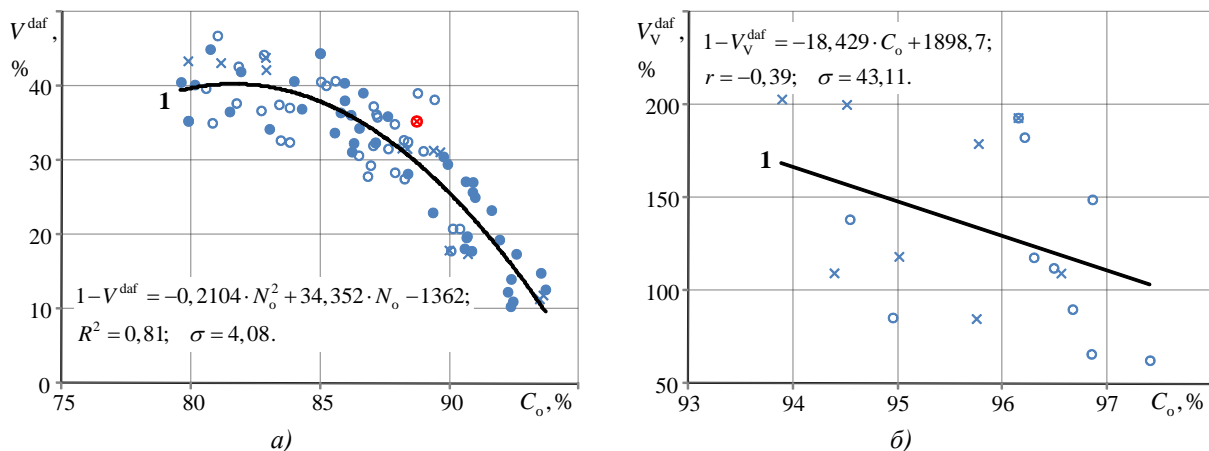


Рис. 5. Взаємозалежність між вмістом вуглецю в органічній масі ( $C_o$ ) з ваговим виходом летких речовин ( $V^{daf}$ ) при термічному розкладанні кам'яного вугілля (а) та з об'ємним виходом летких речовин ( $V_v^{daf}$ ) при термічному розкладанні антрацитів (б): 1 – усереднюючі крива та пряма;

×, ○ – експериментальні дані [1] відповідно для однотипних та різнотипних шахтопластів;  
● – експериментальні дані  $V^{daf}$  [1], які були використані для встановлення відповідності метаморфізму шахтопластів правилу Хільта; ⊗ – експериментальні дані показників [1] для пласта  $l_5$  шахти № 3 «Кочегарка»;  $R^2$ ,  $r$  – відповідно коефіцієнти детермінації та кореляції;  $\sigma$  – середньоквадратичні відхилення

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. 4, а і в), а й значними відхиленнями значень вмісту кисню та водню від усереднюючих кривих (рис. 2, в та 3, 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:

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

У вуглехімічній карті [1] 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 зі 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. 6). Показник  $k_g$  характеризує молекулярне співвідношення вмісту водню та кисню у газах термічного розкладання антрацитів. Навіть ідентифікація цих газів при визначеності коефіцієнта відновленості не сприяло точності визначення  $k_g$  (рис. 6, а). Показник  $k_g$  також малою мірою залежить і від  $C_o$  (рис. 6, б).

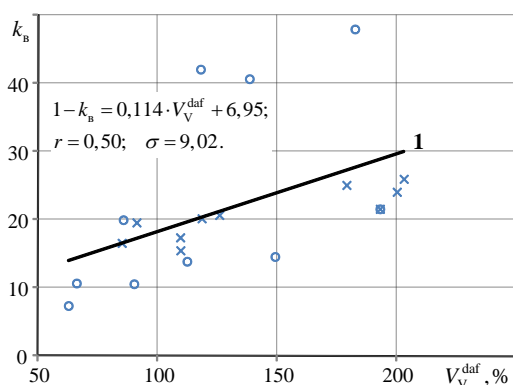
Показники  $V^{daf}$  та  $C_o$  не характеризують одноосібно таку властивість кам'яного вугілля, як товщина ( $\nu$ ) пластичного шару (рис. 7).

Перевага  $V_v^{daf}$  перед  $C_o$  полягає в точності характеристики фізико-електромеханічних властивостей антрацитів (рис. 8 та 9). Це свідчить, що за прогнозу 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.

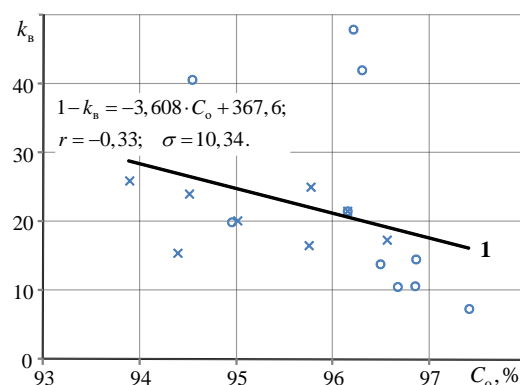
Таблиця 6

Відомості про елементний склад основних компонентів органічної маси для шахтопластів з максимальними відхиленнями експериментальних даних [1] 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, %	відносні по відношенню до розглянутого компонента, частки	$C_o$	$O_o$	$H_o$	$N_o$		
$N_o$	№ 3 «Кочегарка»	$l_5$	+2,7 6	+0,65	88,7 0	1,80	5,27	4,23	100,00	різномітне кам'яне вугілля
	ім. Румянцева	$m_3$	-0,87	-0,41	90,6 1	2,14	5,21	2,04	100,00	правило Хілта
	№ 10 ім. Артема	$l_8$	-1,06	-2,35	93,5 2	0,45	4,49	1,54	100,00	правило Хілта
	ім. Мельникова	$l_6$	+1,8 2	+0,16	83,3 9	11,2 7	3,94	1,40	100,00	різномітне кам'яне вугілля
$O_o$	№ 4104	$h_8$	+1,5 9	+0,58	94,3 9	2,76	1,87	0,98	100,00	однотипні антрацити
	№ 4054	$k_2$	+1,1 3	+0,50	94,5 1	2,26	1,98	1,25	100,00	однотипні антрацити
	№ 4387	$k_5$	+1,2 7	+0,57	95,0 1	2,24	1,71	1,04	100,00	однотипні антрацити
	№ 4306	$h_8$	+1,1 6	+0,60	95,7 5	1,92	1,50	0,83	100,00	однотипні антрацити
	№ 4236	$l_2$	+0,8 1	+0,42	94,5 4	1,93	2,58	1,00	100,05	різномітні антрацити
	№ 4508	$k_5$	+1,7 0	+0,64	94,9 5	2,64	1,34	1,07	100,00	різномітні антрацити
	№ 2 «Трудівська»	$l_3$	+0,9 0	+0,16	79,6 0	13,5 4	5,50	1,36	100,00	правило Хілта
	№ 1/2	$l_2$	+1,0 3	+0,18	79,8 7	12,9 5	5,71	1,47	100,00	однотипне кам'яне вугілля
$H_o$	№ 1/2	$k_8$	+0,8 5	0,14	81,0 1	11,6 7	5,93	1,32	99,93	різномітне кам'яне вугілля
	ім. Мельникова	$l_2$	-1,52	-0,37	84,9 8	9,15	4,08	1,81	100,02	різномітне кам'яне вугілля
	ім. Мельникова	$l_6$	-1,63	-0,41	83,3 9	11,2 7	3,94	1,40	100,00	різномітне кам'яне вугілля
	№ 19/20	$l_7^1$	+0,8 5	+0,13	87,1 2	5,86	6,33	1,69	101,00	різномітне кам'яне вугілля



а)



б)

Рис. 6. Залежність коефіцієнта відновленості при визначенні типів ізометаморфних антрацитів ( $k_b$ ) від об'ємного виходу ( $V_v^{daf}$ ) летких речовин (а) та від вмісту ( $C_o$ ) вуглецю (б):

1 – усереднюючі прямі; ×, ○ – експериментальні дані відповідно для однотипних та різномітних антрацитів;  $r$  – коефіцієнти кореляції;  $\sigma$  – середньоквадратичні відхилення

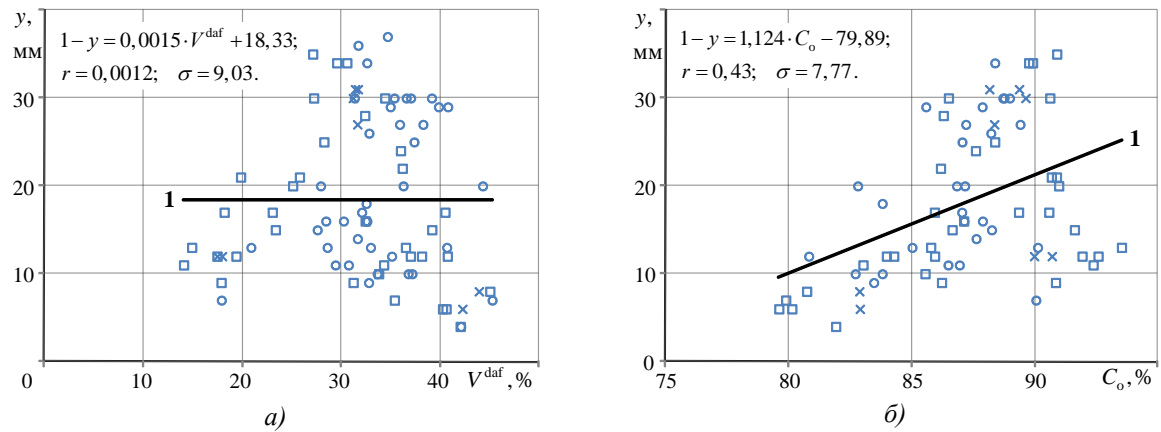


Рис. 7. Залежність товщини пластичного шару ( $y$ ) від вагового виходу ( $V^{daf}$ ) летких речовин (а) та від вмісту ( $C_o$ ) вуглецю (б) згідно з даними [1]  
 1 – усереднюючі прямі;  $\times$ ,  $\circ$  – експериментальні дані [1];  $r$  – коефіцієнти кореляції;  $\sigma$  – середньоквадратичні відхилення

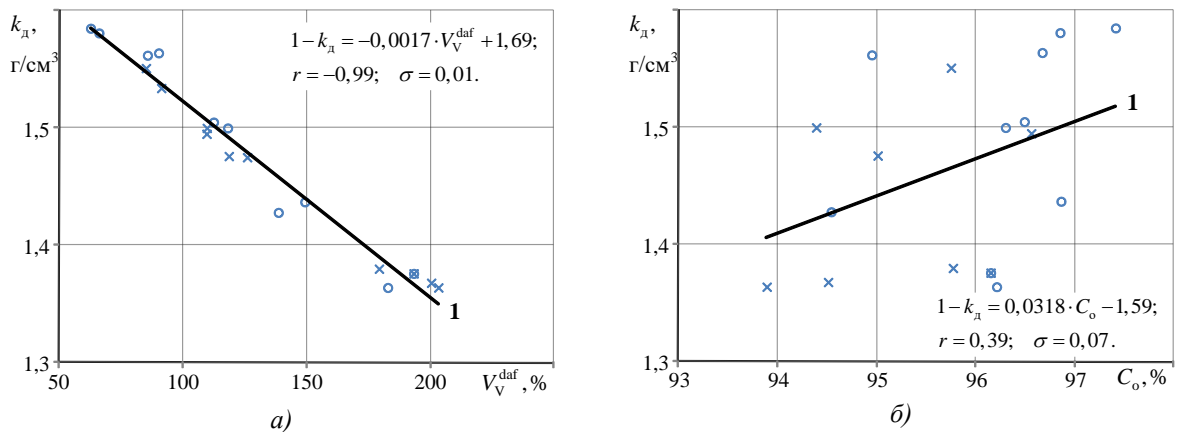


Рис. 8. Залежність питомої ваги органічної маси антрацитів ( $k_d$ ) від об'ємного виходу ( $V^{daf}$ ) летких речовин (а) та від вмісту ( $C_o$ ) вуглецю (б):  
 1 – усереднюючі прямі;  $\times$ ,  $\circ$  – експериментальні дані [1];  $r$  – коефіцієнти кореляції;  $\sigma$  – середньоквадратичні відхилення

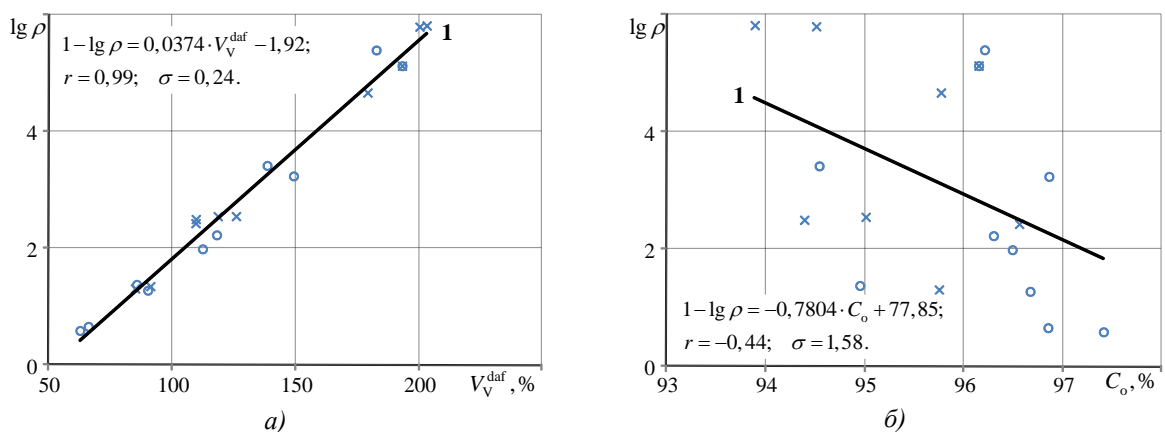


Рис. 9. Залежність логарифма питомого електроопору ( $\lg \rho$ ) від об'ємного виходу ( $V^{daf}$ ) летких речовин (а) та від вмісту ( $C_o$ ) вуглецю (б):  
 1 – усереднюючі прямі;  $\times$ ,  $\circ$  – експериментальні дані [1];  
 $r$  – коефіцієнти кореляції;  $\sigma$  – середньоквадратичні відхилення

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 належить лише до органічної маси [6], 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 100 %. 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. 10). Загальна сірка не належить 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 %.

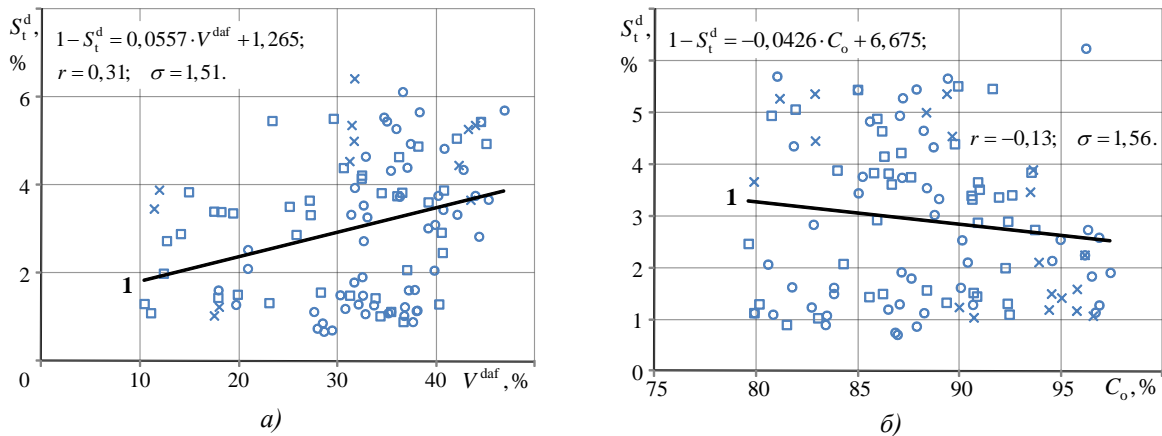


Рис. 10. Залежність вмісту загальної сірки ( $S_t^d$ ) від виходу летких ( $V^{daf}$ ) речовин (а) та від вмісту ( $C_o$ ) вуглецю (б):

1 – усереднюючі прямі; ×, ○ – експериментальні дані [15] відповідно для однотипного кам'яного вугілля та антрацитів, різнотипного кам'яного вугілля та антрацитів, шахтопластів з різною відповідністю правилу Хільта;  $r$  – коефіцієнти кореляції;  $\sigma$  – середньоквадратичні відхилення

Вміст загальної сірки у вугіллі шахтопластів інших басейнів коливається від 0,2 до 10 % [6]. 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 палива, 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 [1].

Загальна сірка ( $S_t^d$ ) значною мірою визначає вміст сірки у горючій частині палива (рис. 11). У свою чергу, виходячи з попереднього збагачення аналітичних проб і виходу золи, як правило, менше 10 %, можна стверджувати про приблизну рівність між  $S_2$  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 3 %. 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.

Вміст органічної сірки генетично належить лише до органічної маси, тому при прогнозі небезпечних властивостей шахтопластів її вміст необхідно розглядати в одній сукупності з рештою основних компонентів цієї маси. Така особливість співвідношення між основними компонентами не бралася до



уваги при визначенні типів вугілля та однотипності шахтопластів, що призвело до відсутності їх конкретних кількісних визначень.

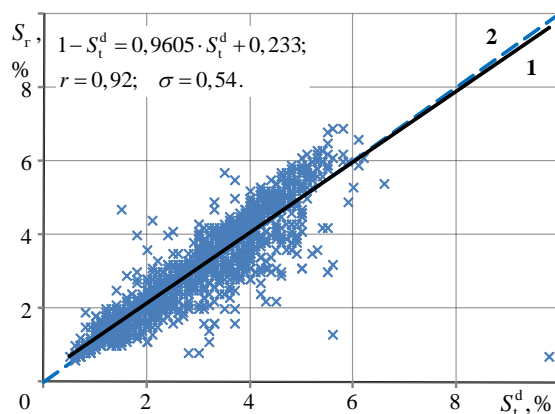


Рис. 11. Взаємозалежність вмісту сірки в горючій частині палива ( $S_g$ ) та загальної сірки ( $S_t^d$ ).  
1 – усереднююча пряма; 2 – бісектриса координатної сітки; × – експериментальні дані [16, 17];  
 $r$  – коефіцієнт кореляції;  $\sigma$  – середньоквадратичне відхилення

Безпосереднім доказом генетичного індивідуального зв'язку між усіма основними компонентами окремих шахтопластів є фактична рівність суми середньоквадратичних відхилень від кривих вмісту кисню ( $\sigma = 0,65$  %, рис. 2, в), водню ( $\sigma = 0,55$  %, рис. 3, в), азоту ( $\sigma = 0,37$  %, рис. 4, в) та сірки в горючій частині палива ( $\sigma = 1,56$  %, рис. 10, б). В цьому випадку, розглядаючи залежності елементного вмісту в органічній масі кисню, водню та азоту від вуглецю, передбачалася рівність їх загальної суми 100 %. Загальна сума середньоквадратичних відхилень при цьому становила 1,57 %. Якщо додатково враховувати наявність сірки в органічній масі, то сума всіх основних компонентів (вуглець, кисень, водень, азот, сірка) також має дорівнювати 100 %. Така рівність для окремого шахтопласта можлива, якщо сума середньоквадратичних відхилень від середніх ліній кисню, водню та азоту дорівнюватиме середньоквадратичному відхиленню сірки. Для розглянутої сукупності шахтопластів на підставі статистичної обробки експериментальних даних практично досягнута така рівність (сума середньоквадратичних відхилень для кисню, водню, азоту дорівнює  $0,65 + 0,55 + 0,37 = 1,57$  % та сірки  $\sigma = 1,56$  %). Це свідчить, що індивідуальні відмінності між вмістом основних компонентів органічної маси для окремих шахтопластів формувалося на стадіях вуглеутворення, що передували метаморфічним процесам. До них належать процеси осадконакопичення, торфоутворення та діагенезу (утворення бурого вугілля).

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

Розглядаючи одну з можливих сторін метаморфічних перетворень, пов'язану зі зміною елементного вмісту основних компонентів у горючій (органічній) масі, необхідно індивідуально враховувати фактичне співвідношення між усіма компонентами кожного шахтопласта. 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, належать 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 та перспективи подальших досліджень.** Проведені дослідження показали великий багатофакторний вплив метаморфічних процесів як на зміну елементного складу горючої (органічної) маси вихідної речовини, так і на його фізико-механічні властивості. Такий спектр змін у складі та властивостях викопного вугілля при метаморфізмі шахтопластів неможливо характеризувати, як це представлено в нормативних документах [7–11], 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:

– 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 факторами, що впливають;

– 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 як показник 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 %;

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

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

– 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 належить лише до органічної маси, тому при прогнозі небезпечних властивостей шахтопластів її вміст необхідно розглядати спільно з рештою основних компонентів;

– 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;

– співвідношення між вмістом основних компонентів генетично мають випадковий характер для сукупності шахтопластів і суто закономірний індивідуальний характер для шахтопласта, 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 шахтопласта;

– щодо другої можливої сторони прояву метаморфізму, яка впливає на прояв небезпечних властивостей шахтопластів, належать 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.

## Список використаної літератури:

1. Геолого-углехимическая карта Донецкого бассейна / ДонУГИ. – М. : Углетехиздат, 1954. – Вып. VIII.– 430 с.
2. Межгосударственный стандарт. Угли. Термины и определения. Издание официальное : ГОСТ 17070-2014. – М. : Стандартинформ, 2015. – 17 с.
3. Горная энциклопедия / гл. ред. *Е.А. Козловский* ; ред. кол. : *М.И. Агошков, Н.К. Байбаков, А.С. Болдыров и др.* // Сов. энциклопедия. – М. : Кенган-Орт., 1987. – Т. 3. – 592 с.
4. Гірничий енциклопедичний словник Т. 1 / ред. *В.С. Білецький*. – Донецьк : Східний видавничий дім, 2001. – 515 с.
5. *Антощенко Н.И.* Влияние температуры на степень метаморфизма ископаемых углей / *Н.И. Антощенко, Н.В. Томалак, С.Л. Сятковский* // Уголь Украины. – 2002. – № 7. – С. 36–38.
6. *Авгусевич И.В.* Стандартные методы испытания углей. Классификации углей / *И.В. Августевич, Е.И. Сидорук, Т.М. Броновец*. – М. : «Реклама мастер», 2019. – 576 с.
7. Правила ведення гірничих робіт на пластах, схильних до газодинамічних явищ : СОУ 10.1.00174088.011:2005 / *О.М. Брюханов, О.В. Агафонов, А.В. Анциферов та ін.* – Чинний від 2005-12-01. – К. : Мінвуглепром України, 2005. – 224 с.
8. Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт. – К. : Основа, 1994. – 311 с.
9. Руководство по предупреждению и тушению эндогенных пожаров на угольных шахтах Украины : КД 12.01.402:2000. – Донецк : НИИГД, 2000. – 216 с.
10. Правила визначення ефективності випереджального захисту пластів, схильних до газодинамічних явищ : СОУ-П 10.1.00174088.016:2009. – К. : Мінвуглепром України, 2009. – 36 с.
11. Руководство по борьбе с пылью в угольных шахтах. – М. : Недра, 1979. – 319 с.
12. Характеристика качества каменных углей и антрацитов Украинской ССР (Донбасс в границах УССР, Львовско-Волынский бассейн) // Справочник по качеству и обогатимости каменных углей и антрацитов Украинской ССР. – М. : Недра, 1965. – 204 с.
13. Справочник по качеству каменных углей и антрацитов Донецкого и Львовско-Волынского бассейнов / Донецкий научно-исследовательский угольный институт. – М. : Недра, 1972. – 168 с.
14. On selecting the classification degree indicators of coal metamorphism for forecasting dangerous properties of coal seams / *V.Tarasov, E.Filatieva, M.Antoshchenko and other* // Sciences of Europe. – 2020. – Vol. 1. – № 55. – P. 49–61.

## References:

1. DonUGI (1954), *Geologo-uglekhimicheskaya karta Donetskogo basseina*, Ugletekhizdat, M., Issue VIII, 430 p.
2. Standartinform (2015), *GOST 17070-2014: Mezhgosudarstvennyi standart. Ugli. Terminy i opredeleniya. Izdanie ofitsial'noe*, M., 17 p.
3. Agoshkov, M.I., Baibakov, N.K., Boldyrov, A.S. et al. (ed.) (1987), *Gornaya entsiklopediya*, editor in chief Kozlovskii, E.A., Sov. entsiklopediya, Kengan-Ort., M., Vol. 3, 592 p.
4. Bilec'kyj, V.S. (ed.) (2001), *Girnychyj encyklopedychnyj slovnyk*, T. 1, Shidnyj vydavnychyj dim, Donec'k, 515 p.
5. Antoshchenko, N.I., Tomalak, N.V. and Syatkovskii, S.L. (2002), «Vliyanie temperatury na stepen' metamorfizma iskopaemykh uglei», *Ugol' Ukrainy*, No. 7, pp. 36–38.
6. Avgushevich, I.V., Sidoruk, E.I. and Bronovets, T.M. (2019), *Standartnye metody ispytaniya uglei. Klassifikatsii uglei*, Reklama master, M., 576 p.
7. Brjuhanov, O.M., Agafonov, O.V., Ancyferov, A.V. et al. (2005), *SOU 10.1.00174088.011:2005: Pravyla vedennja girnychyh robıt na plastah, shylnyh do gazodynamichnyh javyssh*, Chynnyj vid 2005-12-01, Minvugleprom Ukrainy, K., 224 p.
8. *Rukovodstvo po proektirovaniyu ventilyatsii ugol'nykh shakht* (1994), Osнова, K., 311 p.
9. *KD 12.01.402:2000: Rukovodstvo po preduprezhdeniyu i tusheniyu endogennykh pozharov na ugol'nykh shakhtakh Ukrainy* (2000), NIIGD, Donetsk, 216 p.
10. *SOU-P 10.1.00174088.016:2009: Pravyla vyznachennja efektyvnosti vyperedzhal'nogo zahystu plastiv, shylnyh do gazodynamichnyh javyssh* (2009), Minvugleprom Ukrainy, K., 36 p.
11. *Rukovodstvo po bor'be s pyl'yu v ugol'nykh shakhtakh* (1979), Nedra, M., 319 p.
12. *Spravochnik po kachestvu i obogatimosti kamennykh uglei i antratsitov Ukrainskoi SSR* (1965), *Kharakteristika kachestva kamennykh uglei i antratsitov Ukrainskoi SSR (Donbass v granitsakh USSR, L'vovsko-Volynskii bassein)*, Nedra, M., 204 p.
13. *Donetskii nauchno-issledovatel'skii ugol'nyi institut* (1972), *Spravochnik po kachestvu kamennykh uglei i antratsitov Donetskogo i L'vovsko-Volynskogo basseinov*, Nedra, M., 168 p.
14. Tarasov, V. Filatieva, E., Antoshchenko, M. et al. (2020), «On selecting the classification degree indicators of coal metamorphism for forecasting dangerous properties of coal seams», *Sciences of Europe*, Vol. 1, No. 55, pp. 49–61.

**Руднів Євген Сергійович** – кандидат технічних наук, доцент Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля.

Наукові інтереси:

- прогноз небезпечних властивостей вугільних шахтопластів;
- охорона праці у гірництві.

**Антощенко** Микола Іванович – доктор технічних наук, професор Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля.

Наукові інтереси:

- розробка вугільних родовищ;
- охорона праці у гірництві;
- механіка зрушення гірничих порід;
- прогноз газовиділення;
- прогноз небезпечних властивостей вугільних шахтопластів.

**Філатьєва** Ельвіра Миколаївна – доктор філософії (Ph.D.), доцент Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля.

Наукові інтереси:

- охорона праці у гірництві;
- механіка зрушення гірничих порід;
- прогноз газовиділення.

**Філатьєв** Михайло Володимирович – доктор технічних наук, професор Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля.

Наукові інтереси:

- розробка вугільних родовищ;
- охорона праці у гірництві;
- механіка зрушення гірничих порід;
- прогноз газовиділення;
- прогноз небезпечних властивостей вугільних шахтопластів.

**Rudniev Ye.S., Antoshchenko M.I., Filatieva E.N., Filatiev M.V.**

**On the issue of establishing the type of coal seams by «reduction» («oxidation») of fossil coals**

The yield of volatile substances during the thermal decomposition of coals and the oxygen content in the organic mass do not unambiguously characterize both the types of coals according to the expected reduction, and the manifestations of the hazardous properties of coal seams during mining. To establish the true reasons for the change in the properties of coal seams in the process of metamorphic transformations and the appearance of a tendency to the emergence of hazardous properties, it is necessary to take into account the change in the ratio between all the main components of the organic mass (carbon, oxygen, hydrogen, sulfur and nitrogen) and is not limited to considering the content of only oxygen and total sulfur. It has been proved that the different oxygen content in the organic mass with the same degree of metamorphic transformations of coal seams is not a consequence of their reduction, but is associated with a different initial ratio between the main components at the previous stages of coal formation. The research methodology is based on the statistical processing of known experimental data obtained for almost all coal seams in the Donbass and the Lviv-Volyn basin. The conducted studies have shown a great multifactorial influence of metamorphic processes, both on the change in the elemental composition of the combustible (organic) mass of the initial substance, and on its physical and mechanical properties. It is not possible to characterize such a range of changes in the composition and properties of fossil coals during the metamorphism of coal seams, as it is presented in regulatory documents, with practically one indicator - the release of volatile substances during thermal destruction of fuel. This indicates the need to improve the regulatory framework for the safe conduct of mining operations. When making the necessary adjustments, it is proposed to take into account the established features of changes in the elemental composition and properties of coals during metamorphic transformations of coal seams.

**Keywords:** coal seams; reduction; coal; oxygen; metamorphism; carbon content; sulfur; mining; safety; regulatory framework; improvement.

Стаття надійшла до редакції 10.05.2022