

В.С. Савчук, В.Ф. Приходченко, О.О. Кузьменко

*Національний гірничий університет*

## ХІМІЧНИЙ СКЛАД ЗОЛИ ВУГІЛЛЯ ПІВНІЧНОГО ВУГЛЕНОСНОГО РАЙОНУ ДОНБАСУ

Надано всебічну характеристику хімічного складу золи вугілля. Проаналізовано та узагальнено матеріали по зольності та хімічному складу золи вугілля основних вугільних пластів. Проведено типізацію золи вугілля за діючими стандартами. Встановлено латеральні та стратиграфічні закономірності зміни складу золи.

Ключові слова: зольність, хімічний склад золи, модуль золи, тип золи

Дана всестороння характеристика химического состава золы угля. Проанализированы и обобщены материалы по зольности и химическому составу золы угля основных угольных пластов. Проведена типизация золы угля по действующим стандартам. Установлены латеральные и стратиграфические закономерности изменения состава золы.

Ключевые слова: зольность, химический состав золы, модуль золы, тип золы

The comprehensive characteristic of coal ashes chemical compound is given. Materials on ash content and coal ashes chemical compound of the basic coal beds are analyzed and generalized. Definition of coal ashes type according to the operating standards is done. Lateral and stratigraphic laws of change of ashes compound are established.

Keywords: ash content, ashes chemical compound, ashes module, ashes type

**Вступ.** Знання хімічного складу золи вугілля набуває важливого значення при окресленні напрямів його використання. Визначено, що ступінь конверсії органічної маси і вихід рідких продуктів гідрогенізації збільшується під час зрідження вугілля з підвищеним вмістом заліза, кальцію та магнію. Вміст кремнію, калію, натрію зменшує глибину перетворення органічної маси. Тому на стадії геологорозвідувальних робіт хімічний склад золи вугілля є одним із критеріїв оцінки ступеню придатності гумусового вугілля для гідрогенізації [1]. Дослідженнями останніх десятиліть доведено, що якість коксу, його реакційна здатність (CRI) і після реакційна міцність (CSR) в значній мірі також пов'язані з хімічним складом золи вугілля. У розрахункових формулах цих показників обов'язково враховується хімічний склад золи. Особлива увага надається хімічному складу золи вугілля і під час його паливного використання. Відклади золи на поверхнях котлоагрегатів, що працюють, здатні утворювати майже всі неорганічні компоненти вугілля [2]. Швидке їх накопичення пов'язане з наявністю у складі золи легкоплавких сполук натрію та калію. Окрім того, оксиди цих металів відносяться до головних корозійних агентів, а також активно забруднюють навколишнє середовище.

**Постановка проблеми.** Наприкінці XIX століття на північній окраїні Донбасу була встановлена вугленосна площа, де за результатами проведених у подальшому геологорозвідувальних робіт були підраховані запаси вугілля у кількості понад 9 млрд. т. Вугілля за хіміко-технологічними властивостями, згідно ДСТУ 3472-96, що діє в Україні, відноситься до марки ДГ. Для подальшого визначення напрямів його використання у промисловості необхідна всебічна характеристика вугілля, у тому числі і хімічного складу золи. За результатами

незначної кількості публікацій хімічний склад вугілля цього регіону характеризуються значною кількістю глинистих мінеральних домішок і підвищеним вмістом лужних металів [3]. Основні дані зі складу золи вугілля, які були отримані при проведенні геологорозвідувальних робіт, узагальнені тільки по окремим ділянкам. Стратиграфічні та латеральні закономірності їх зміни не визначені.

**Ціль роботи** – надати всебічну характеристику хімічному складу золи вугілля Північного вугленосного району, виконати його типізацію, встановити латеральні та стратиграфічні особливості його зміни.

**Виклад основного матеріалу.** В результаті проведення пошуково-розвідувальних робіт, за геологічними особливостями на території Північного Донбасу виділені Сватівська і Старобільська перспективні площі, Богданівське і Петровське родовища. Сватівська перспективна площа розташована у північно-західній частині Північного вугленосного району Донбасу, а Старобільська площа – у центральній його частині. Богданівське родовище розміщене у північно-східній частині Північного Донбасу, а Петровське родовище – у південно-східній частині площі.

Розріз вугільних товщ на різних частинах площі представлений різними пластами вугілля: на Богданівському родовищі –  $h_8$  та  $k_2^H$ , Сватівській площі –  $k_2^H$  та  $m_3$ , Старобільській площі та Петровському родовищі –  $k_2^H$ ,  $l_7$ ,  $m_3$ .

**Пласт  $h_8$**  розповсюджений з робочою потужністю на площі майже всього Богданівського родовища, за виключенням крайньої південної ділянки Богданівська №6. Зольність вугільних пачок ( $A_{\text{вуг.п}}^d$ ) коливається від 6,2 до 22,0 %, за середнього значення 13,8 %. Вугілля здебільшого відноситься до середньозольного (70,8 %), високозольного (25 %), та малозольного (близько 4,2 %). Зольність з урахуванням засмічення ( $A_{\text{пл}}^d$ ), при коливанні від 6,2 до 45,4 % у середньому становить 15,7 %. По площі зольність з урахуванням засмічення та зольність вугільних пачок збільшується у напрямку з південного заходу на північний схід. Склад золи змінюється у широкому діапазоні і в значній мірі залежить від її кількості. У складі золи вугілля переважають наступні оксиди:  $\text{SiO}_2$  (41,1 %),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (21,3 %),  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (19,3 %),  $\text{CaO}$  (5,7 %),  $\text{SO}_3$  (5,5 %),  $\text{MgO}$  (1,3 %). Значення модуля А ( $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ ) становить 2,36. Кремнієвий модуль В ( $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ ) складає у середньому 0,59. Значення модуля С ( $\text{CaO}/\text{MgO}$ ) у середньому дорівнює 5,45, вапнякового модуля D ( $\text{CaO}/\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) – 0,39. Кислотний модуль М ( $(\text{Al}_2\text{O}_3+\text{SiO}_2)/(\text{CaO}+\text{MgO}+\text{Fe}_2\text{O}_3)$ ) – 2,96, модуль N ( $(\text{CaO}+\text{MgO}-\text{Fe}_2\text{O}_3)/(\text{CaO}+\text{MgO}+\text{Fe}_2\text{O}_3)$ ) дорівнює -0,42. Глиноземний модуль ( $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) становить 1,6, силікатний модуль  $\text{SiO}_2/(\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3)$  – 1,14. Середнє значення модуля Ca/Mg – 6,46. Вміст  $\text{Na}_2\text{O}$  становить 4,3 %,  $\text{K}_2\text{O}$  – 1,4 % (таблиця 1). За складом зола вугілля відноситься до кременистого типу за класифікацією В.Р. Клера та Н.П. Очкур та до лужно-карбонатно-силікатного низько залізистого за класифікацією М.О. Доброгорського [3,4,5]. За вмістом фосфору, який у середньому складає 0,017 %, вугілля відноситься до середньофосфористого. Температура плавлення золи вугілля ( $t_3$ ) змінюється від 1120 до 1250 °С та в середньому складає 1205 °С. За середніми значеннями зола відноситься до середньолавкої.

**Пласт  $k_2^H$ .** Зольність вугільних пачок ( $A_{\text{вуг.п}}^d$ , %) в цілому по регіону змінюється від 4,1 до 50,7 %, в середньому складає 16,6 %. Середні значення по площам поширення пласта варіюють від 14,1 до 21,5 %. Вугілля відноситься до середньозольного (57,1 %), високозольного (23,3 %), малозольного (11,6 %) та

багатозольного (8,0 %). Зольність з урахуванням засмічення ( $A_{пл}^d$ , %) при коливаннях від 4,1 до 75,9 % у середньому сягає 19,9 %. Середні значення по площам поширення пласта знаходяться в інтервалі 14,3-29,1 %. Зольність вугільних пачок та зольність з урахуванням засмічення збільшується у напрямку з північного сходу на південний захід. У складі золи вугілля переважають такі оксиди, як  $SiO_2$  (32,6 %),  $Fe_2O_3$  (22,5 %),  $SO_3$  (13,1 %),  $Al_2O_3$  (13,1 %),  $CaO$  (12,1 %),  $MgO$  (1,8 %),  $TiO_2$  (0,4 %). Значення модуля А ( $SiO_2/Al_2O_3$ ) становить 3,83. Кремнієвий модуль В ( $Al_2O_3/SiO_2$ ) складає у середньому 0,44. Значення модуля С ( $CaO/MgO$ ) у середньому дорівнює 8,97, вапнякового модуля D ( $CaO/Fe_2O_3$ ) – 0,77. Кислотний модуль М ( $(Al_2O_3+SiO_2)/(CaO+MgO+Fe_2O_3)$ ) – 1,63, модуль N ( $(CaO+MgO-Fe_2O_3)/(CaO+MgO+Fe_2O_3)$ ) дорівнює –0,22. Глиноземний модуль ( $Al_2O_3/Fe_2O_3$ ) становить 0,79 %, силікатний модуль  $SiO_2/(Al_2O_3+Fe_2O_3)$  – 1,25. Середнє значення модуля Ca/Mg – 10,63. Вміст  $Na_2O$  становить 3,0 %,  $K_2O$  – 1,2 % (таблиця 1). За середнім складом по регіону зола вугілля відноситься до залізного типу за класифікацією В.Р. Клера та Н.П. Очкур та до лужно-карбонатно-силікатного середньо залізного за класифікацією М.О. Доброгорського. По площам району зола вугілля Сватівської та Старобільської площ за класифікацією В.Р. Клера та Н.П. Очкур відноситься до залізного та власне залізного типу відповідно, Петровського родовища – до залізного типу за обома класифікаціями. Зола вугілля пласта  $k_2^H$  Богданівського родовища відноситься до кременистого типу за обома класифікаціями. За класифікацією М.О. Доброгорського зола вугілля Сватівської площі відноситься до лужно-карбонатно-алюмосилікатного залізного типу, Старобільської площі – до карбонатно-силікатного залізного типу, Петровського та Богданівського родовищ – до лужно-карбонатно-силікатного середньо залізного та низько залізного типів відповідно. За вмістом фосфору ( $P^d$ , %) вугілля відноситься до середньофосфористого. Температура плавлення золи вугілля ( $t_3$ ) змінюється від 1010 до 1400° С, в середньому складає 1223,0° С. За середніми значеннями зола відноситься до середньоплавкої.

Таблиця 1

**Хімічний склад золи вугілля Донбасу**

Оксиди, %	Ділянки Північного Донбасу										Донбас в цілому [5]
	Сватівська площа		Старобільська площа			Петровське родовище			Богданівське родовище		
	Синоніміка пластів										
	$k_2^H$	$m_3$	$k_2^H$	$l_7$	$m_3$	$k_2^H$	$l_7$	$m_3$	$h_8$	$k_2^H$	
$SiO_2$	28,8	21,9	25,6	20,4	13,4	33,3	19,3	22,3	41,1	42,7	40,0
$Al_2O_3$	14,5	11,0	11,1	12,3	7,5	14,2	11,4	10,3	21,3	12,4	19,5
$Fe_2O_3$	25,2	31,7	27,8	34,8	37,7	23,8	35,0	31,4	19,3	13,0	25,9
$TiO_2$	0,4	0,3	0,3	0,4	0,3	0,5	0,4	0,4	0,0	0,5	-
$CaO$	12,0	12,6	13,6	11,4	14,8	9,9	11,9	12,2	5,7	12,9	5,2
$MgO$	1,9	1,8	1,7	2,1	2,1	1,9	1,6	1,8	1,3	1,8	1,4
$SO_3$	13,3	16,9	16,2	14,6	20,3	11,9	15,8	17,3	5,5	11,2	4,6
$K_2O$	1,2	0,8	1,2	0,8	0,7	1,4	0,7	1,0	1,4	0,9	1,7
$Na_2O$	2,5	2,9	2,3	3,0	3,0	2,9	3,6	3,1	4,3	4,3	1,3
$P_2O_5$	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,1	0,3	0,4

**Пласт  $l_7$**  розповсюджений з робочою потужністю на Старобільській площі здебільшого у північній та східній її частинах та на більшості площі Петровського

родовища, за виключенням східної його частини (ділянки Петровська №5, 6 та 7). Зольність з урахуванням засмічення ( $A_{пл}^d$ , %) в середньому по регіону складає 13,4 %. Змінюється по окремих свердловинах в інтервалі 7,3-28,2 %. Середні значення по площах поширення пласта складають 12,8-13,9 %. Зольність вугільних пачок ( $A_{в.п.}^d$ , %) становить в середньому 13,1 %, змінюється в інтервалі 4,1-26,4 %. Середні показники по площах становлять 12,5-13,6 %. Вугілля пласта відноситься на 82,7 % до середньозольного, на 11,8 % до високозольного, 2,2 % – до малозольного та на 2,7 % до багатозольного типів. Збільшення значень зольності з урахуванням засмічення та зольності вугільних пачок відбувається у субширотному напрямку зі сходу на захід. У складі золи вугілля переважають наступні оксиди:  $Fe_2O_3$  (34,7 %),  $SiO_2$  (19,9 %),  $SO_3$  (15,2 %),  $Al_2O_3$  (11,9 %),  $CaO$  (11,6 %),  $MgO$  (1,9 %),  $TiO_2$  (0,4 %). Значення модуля А ( $SiO_2/Al_2O_3$ ) становить 1,73. Кремнієвий модуль В ( $Al_2O_3/SiO_2$ ) складає у середньому 0,67. Значення модуля С ( $CaO/MgO$ ) у середньому дорівнює 7,66, вапнякового модуля D ( $CaO/Fe_2O_3$ ) – 0,41. Кислотний модуль М ( $Al_2O_3+SiO_2/(CaO+MgO+Fe_2O_3)$ ) – 0,73, модуль N ( $CaO+MgO-Fe_2O_3/(CaO+MgO+Fe_2O_3)$ ) дорівнює –0,42. Глиноземний модуль ( $Al_2O_3/Fe_2O_3$ ) становить 0,42%, силікатний модуль  $SiO_2/(Al_2O_3+Fe_2O_3)$  – 0,47. Середнє значення модуля Ca/Mg – 9,08. Вміст  $Na_2O$  становить 3,3 %,  $K_2O$  – 0,8 % (таблиця 1). За середнім складом зола вугілля відноситься до залізистого та власне залізистого типу за класифікацією В.Р. Клера та Н.П. Очкур відповідно. За класифікацією М.О. Доброгорського зола відноситься до лужно-карбонатно-алюмосилікатного високо залізистого типу. Середні значення по площах району майже рівні, тому для окремих площ типізація зберігається. Температура плавлення золи вугілля ( $t_3$ ) змінюється від 1020 до 1400 С. За середніми значеннями 1200 °С зола відноситься до легкоплавкої.

Таблиця 2

**Хімічний склад золи вугілля Північного Донбасу по світах**

Оксиди, %	Синоніміка світ					
	$C_2^3$	$C_2^5$	$C_2^6$	$C_2^7$	середнє по площі	
$A^d$	13,8	14,9	15,0	15,8	14,9	
$SiO_2$	41,1	32,7	26,4	28,2	32,1	
$Al_2O_3$	21,3	14,6	12,7	14,6	15,8	
$Fe_2O_3$	19,3	23,6	25,2	26,2	23,5	
$TiO_2$	0,0	0,5	0,5	0,5	0,4	
$CaO$	5,7	10,4	14,3	10,8	10,3	
$MgO$	1,3	1,8	2,0	2,0	1,8	
$SO_3$	5,5	11,8	15,1	13,3	11,4	
$K_2O$	1,4	1,1	0,9	1,2	1,2	
$Na_2O$	4,3	3,1	2,7	3,0	3,3	
$P_2O_5$	0,10	0,20	0,18	0,20	0,17	
Тип золи	по Клери	кремениста	залізиста	залізиста	залізиста	залізиста
	по Очкур	кремениста	залізиста	власне залізиста	власне залізиста	залізиста
	по Доброгорському	лужно-карбонатно-силікатна та низько залізиста	лужно-карбонатно-силікатна та середньо залізиста	лужно-карбонатно-алюмосилікатна та середньо залізиста	лужно-карбонатно-алюмосилікатна та залізиста	лужно-карбонатно-алюмосилікатна та середньо залізиста

**Пласт m<sub>3</sub>** залягає на Сватівській, Старобільській площі та на території майже всього Петровського родовища, за виключенням східної його частини (ділянки Петровські №6 та 7). Зольність вугільних пачок змінюється в межах від 7,5 до 34,3 %, середнє значення 14,1 %. Середні значення по площам поширення пласта знаходяться в інтервалі 13,7-14,7 %. Вугілля здебільшого відноситься до середньо зольного (66,5 %), високозольного (27,3 %), багатозольного (3,6 %) та малозольного (близько 2,6 %). Показники зольності з урахуванням засмічення ( $A_{пл}^d$ ) коливаються в тих же межах від 7,5 % до 34,3 %, середнє значення 14,4 %. Середні значення по площам поширення пласта знаходяться в інтервалі 14,0-14,8 %. Зольність вугільних пачок та зольність з урахуванням засмічення збільшується у напрямку з північного заходу на південний схід. У складі золи вугілля переважають наступні оксиди: Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (33,6 %), SiO<sub>2</sub> (19,2 %), SO<sub>3</sub> (18,2 %), CaO (13,2 %), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (9,6 %), MgO (1,9 %), TiO<sub>2</sub> (0,3 %). Значення модуля А (SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) становить 2,07. Кремнієвий модуль В (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiO<sub>2</sub>) складає у середньому 0,63. Значення модуля С (CaO/MgO) у середньому дорівнює 9,11, вапнякового модуля D (CaO/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) – 0,46. Кислотний модуль М (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+SiO<sub>2</sub>)/(CaO+MgO+Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) – 0,79, модуль N (CaO+MgO–Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)/(CaO+MgO+Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) дорівнює –0,37. Глиноземний модуль (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) становить 0,39, силікатний модуль SiO<sub>2</sub>/(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) – 0,48. Середнє значення модуля Ca/Mg – 10,81. Вміст Na<sub>2</sub>O в середньому становить 3,0 %, K<sub>2</sub>O – 0,8 %. За середнім складом зола вугілля відноситься до залізистого та власне залізистого типу за класифікацією В.Р. Клера та Н.П. Очкур відповідно. За класифікацією М.О. Доброгорського зола відноситься до лужно-карбонатно-алюмосилікатного високо залізистого типу. За вмістом фосфору, який у середньому складає 0,02 %, вугілля відноситься до середньофосфористого. Температура плавлення золи вугілля (t<sub>3</sub>) змінюється від 1050 до 1440 С. За середніми значеннями 1255°C зола відноситься до середньоплавкої.

Визначення типового хімічного складу золи вугілля Північного вугленосного району дає змогу встановити його особливості і визначити латеральні та стратиграфічні закономірності його зміни.

У порівнянні з хімічним складом золи середнього карбону Донбасу воно характеризується більшим вмістом оксидів заліза, кальцію, магнію, натрію та триоксиду сірки (таблиця 1). Окрім того, вугілля Північного вугленосного району, за винятком вугілля Богданівського родовища, відрізняється меншою кількістю оксидів кремнію та алюмінію [5,6,7].

Встановлено, що по площі розповсюдження пластів, з заходу на схід, у хімічному складі золи вугільних пластів Північної площі відмічається підвищення кількості оксидів кремнію, кальцію, магнію та натрію. Вміст оксидів алюмінію, заліза та триоксиду сірки у цьому напрямку зменшується.

У стратиграфічному розрізі, від пластів світи C<sub>2</sub><sup>5</sup> до пластів світи C<sub>2</sub><sup>7</sup>, у хімічному складі золи вугільних пластів відбувається підвищення кількості оксидів заліза, кальцію, магнію, натрію та триоксиду сірки. Кількість оксидів кремнію та алюмінію, у цьому напрямку, зменшується (таблиця 2).

**Висновки.** За результатами узагальнення матеріалів з хімічного складу золи вугілля встановлено наступне:

1. Хімічний склад золи вугільних пластів Північного району має своєрідне співвідношення золоутворюючих компонентів і відрізняється від хімічного складу вугільних пластів середнього карбону Донбасу.

2. Особливістю хімічного складу золи є підвищений вміст оксидів заліза, кальцію, натрію та триоксиду сірки.

3. Згідно діючої класифікації за хімічним складом зола вугільних пластів Сватівської, Старобільської вугленосних площ та Петровського родовища відноситься до залізистого типу, а Богданівського родовища – до кременистого типу [4].

4. Доведено, що по площі розповсюдження вугільних пластів, з заходу на схід, у хімічному складі золи відбувається підвищення кількості оксидів кремнію, кальцію, магнію та натрію.

5. Як для всіх вугленосних ділянок, так і для Північної вугленосної площі у цілому встановлені стратиграфічні закономірності зміни хімічного складу золи.

6. Подальші дослідження слід спрямувати на визначення стратиграфічних та латеральних закономірностей змін вмісту лужних металів.

### **Бібліографічні посилання**

1. Роль минеральных компонентов при производстве синтетического жидкого топлива/Кричко А.А., Шпирт М.Я., Юлин М.К. [и др.]// Структура и свойства ископаемых углей. – К.: Наук. думка, 1986. – С.117-126.

2. Зекель Л.А. Влияние минеральных компонентов углей на процессы их переработки/ Л.А. Зекель, М.Я. Шпирт// ХТТ. – 2005. – №1. – С.91-100.

3. Очкур Н.П. Состав золы Донецких углей различных генетических типов и возможные направления ее использования/ Н.П. Очкур// Структура и свойства ископаемых углей. – К.: Наук. думка, 1986. – С. 106-112.

4. Клер В.Р. Изучение и геолого-экономическая оценка качества углей при геологоразведочных работах./ Клер В.Р. – М.: Недра, 1975. – 320с.

5. Доброгорский Н.А. Качество угольной золы и ее промышленное использование/ Доброгорский Н.А. – Киев-Донецк:Вища школа, 1981. – 120 с.

6. Юдович Я.Э. О распределении зольности в каменных углях Алмазно-Марьевского района Донецкого бассейна/ Юдович Я.Э.// Литология и полезные ископаемые. – 1969. – №2. – С.115-124

7. Егоров Г.И. К вопросу о закономерном изменении компонентов золы углей на площади Донецкого каменноугольного бассейна/ Егоров Г.И.// Доклады АН СССР. – 1944. – Том XLIII – №1. – С. 19-22.