

---

УДК 550.4:552.57/.58

## **Формы нахождения микроэлементов в каменных углях и антрацитах Северо-Восточного Донбасса вблизи ртутно-рудных тел**

**И. В. Удалов**

*Харьковский национальный университет имени В. Н. Каразина*

Представлено исследование форм нахождения микроэлементов в каменных углях и антрацитах Северо-Восточного Донбасса в ореоле влияния ртутно-рудных тел. Анализ распределения проявлений Hg в углях Северо-Восточного Донбасса позволил наметить зависимость состава парагенетических ассоциаций ртутной минерализации от стадий постдиагенетических преобразований вмещающих пород. Выявлено, что в исследованных образцах каменных углей только 2 элемента – Ве и Y – можно уверенно связать с органическим веществом. Показано, что определенные особенности влияния гидротермальных процессов на распределение элементов и форм их накопления в каменных углях необходимо учитывать при определении потенциальных ресурсов токсичных и редких элементов на территории Северо-Восточного Донбасса.

*Ключевые слова:* каменные угли, рудные тела, микроэлементы, состав угля, форма нахождения.

## **Forms of occurrence of trace elements in coals and anthracite North-east Donbass near mercury ledge**

**I. V. Udalov**

*Kharkiv National University Karazin*

Presented by the research of the forms of trace elements in coals and anthracite North-East Donbass in the halo of influence mercury ledge. Shown the geological and tectonic features of the propagation and accumulation of trace elements in coals of the research area. Describes the general

---

Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина, пл. Свободы, 4, г. Харьков,  
61000, Украина.

V.N. Karazin Kharkiv National University, pl. Svobody, 4, Kharkov, 61000, Ukraine. Tel.: +38-095-917-59-32. E-mail: [igorudalov8@gmail.com](mailto:igorudalov8@gmail.com)

patterns of concentration of trace elements in coal and anthracite. The purpose of research is to identify the patterns of the modes of occurrence of trace elements in coals and anthracite in the zone of

influence of mercury ledge. It is determined that an abnormal content of the elements of the sedimentary genesis is found in coals of low metamorphic grade, since it is associated with an organic part of coal. Described zonation of hydrothermal mineralization zones of regional thrusts controlling abnormal concentration of toxic and potentially toxic elements, suggests a direct link anomalous contents of elements with the intensity of hydrothermal alteration Carboniferous rocks. Analysis of the distribution of the manifestations of Hg in the North-East Donbass allowed to identify the dependence of paragenetic associations of mercury mineralization stages postdiagenetic transformation of host rocks. It is noticed that the intensive elaboration of organic matter hydrothermal solutions, forms of occurrence of trace elements in coals differ significantly from their modes of occurrence in coal without undergoing alteration or poorly designed them.

*Key words:* coal, minerals, concentration, form finding, ledge.

**Введение.** Донецкий бассейн – крупнейший угольный бассейн Европы, и перспектива его развития неразрывно связана с комплексным освоением полезных ископаемых. Угли Донбасса содержат ценные элементы, которые на протяжении всей истории развития угольной промышленности не извлекались. Попутное извлечение ценных элементов из углей – один из путей развития и увеличения рентабельности угольной отрасли [8]. Поэтому изучение форм нахождения этих элементов является крайне важной и актуальной задачей.

Территорией исследований является Северо-Восточный Донбасс, представленный восемью геолого-промышленными районами (с северо-запада на юго-восток): Лисичанским, Алмазно-Марьевским, Селезневским, Боково-Хрустальским, Луганским, Краснодонским, Ореховским, Должанско-Ровенецким. Исходя из поставленных целей, необходимо отметить, что исследуемые объекты (шахты, углеразведочные участки) находятся в традиционно угледобывающих районах, расположенных южнее Северодонецкого надвига. Своеобразие и многообразие геологического строения описываемой территории, включающее зону Северной мелкой складчатости, со сложным взаимодействием пликативных и дизъюнктивных структур, испытывающих влияние крупных региональных надвигов, безусловно, накладывают отпечаток на накопление и разубоживание тех или иных химических элементов в геологических телах. [2]

Целью исследований является выявление закономерностей форм нахождения микроэлементов в каменных углях и антрацитах, находящихся в зоне влияния ртутно-рудных тел. Помимо теоретического данное исследование имеет два важных практических аспекта. Во-первых, оно поможет решить эколого-геохимические проблемы, связанные с обращением и переработкой отходов угольной промышленности. Во-вторых, поможет выявить те микроэлементы, которые можно использовать как потенциальные ресурсы токсичных и редких элементов.

**Материал и методы исследований.** Изучение форм нахождения микроэлементов в каменных углях и антрацитах геолого-промышленных районов Северо-Восточного Донбасса являлось составной частью работ по паспортизации 85 породных отвалов ликвидируемых шахт, расположенных на территории Луганской области. Распределение химических элементов в углях и антрацитах было изучено по архивным данным кернового и бороздового опробования угольных пластов шахт исследуемого района. С помощью современной техники были систематизированы и обобщены многочисленные данные спектрального анализа проб углей (8330), песчано-глинистых и карбонатных пород (14400). Лабораторные работы по определению состава углей спектральным

полуколичественным анализом выполнялись лабораториями ПГО «Донбасгеология» и «Луганскгеология».

**Анализ и результаты исследований.** Известно, что Никитовское рудное поле включает 8 самостоятельных месторождений: Чернобугорское, Чернокурганское, Новозаводское, Мичуринское, Никитовское, Полукупол Новый, Чегарникское и Железнянское месторождения ртути. Но поскольку все они характеризуются похожим геологическим строением и сходным набором минералов, то часто все объекты Никитовского рудного поля называют Никитовским месторождением ртути. Все месторождения структурно приурочены к Горловской антиклинали и сопряженным с ней брахиструктурам, крупным разломам (Секущий и др.), мелким складчатым и разрывным нарушениям. Месторождения Никитовского рудного поля относятся к кварц-диккитовому геолого-промышленному типу [1].

Отмечено, что на размещение промышленных месторождений ртути решающее влияние оказывали крупные разломы (Осовой, Секущий и др.). По зоне дробления и трещинам растворы устремлялись из глубоких горизонтов вверх. В сводовых частях куполов, где возник большой объем трещин, должно было подойти максимальное количество растворов, где на своем пути они встречали препятствия в виде углисто-глинистого материала продольных трещин и покрывающих глинистых сланцев. В таких участках происходила концентрация растворов и последующая кристаллизация содержащихся в них веществ [4].

Ртутное оруденение (представленное киноварью) концентрируется в пластах песчаников, мощность которых составляет 50 – 60 м. Морфология рудных тел полностью подчинена трещинной тектонике.

Анализ имеющейся информации позволил установить, что на территории исследований самые высокие концентрации токсичных и редких элементов в углях распределяются в зоне Северной мелкой складчатости, в полосе развития региональных надвигов с интенсивно проявленной гидротермальной минерализацией и в линейных структурах первого порядка, в основном к западу от Ровенецкого поднятия. В зоне Северной мелкой складчатости в региональном плане аномальные содержания элементов гидротермального ряда находятся в зоне влияния Лисичанского глубинного разлома, а в палеозойском чехле – надвигов и других более мелких нарушений. В структурах первого порядка они контролируются Центрально-Донецким глубинным разломом, а в палеозойском чехле – поперечными сбросами и другими более мелкими нарушениями. Аномальное содержание элементов осадочного генезиса, особенно бериллия (Be), встречается в углях низких степеней метаморфизма, так как они связаны с органической частью углей.

Описанная зональность гидротермальной минерализации, зон региональных надвигов, контролирующей аномальное содержание токсичных и потенциально токсичных элементов, дает возможность сделать вывод о прямой связи аномальных содержаний таких элементов: ртуть (Hg), мышьяк (As), никель (Ni), кобальт (Co) и свинец (Pb) с интенсивностью гидротермальной проработки каменноугольных пород. Анализ распределения проявлений Hg на территории Северо-Восточного Донбасса позволил отметить зависимость состава парагенетических ассоциаций ртутной минерализации от стадий постдиагенетических преобразований вмещающих пород; катагенеза углей марок Г, Ж, К, ОС и метагенеза углей марок Т, ПА, А.

Из литературных источников известно, что формы нахождения микроэлементов в каменных углях и антрацитах зависят:

- от источников их накопления;
- величины концентрации;
- стадии метаморфизма органического вещества;
- степени проработки терригенно-угленосных отложений гидротермальными растворами [6].

Замечено, что при интенсивной проработке органического вещества гидротермальными растворами формы нахождения микроэлементов в каменных углях существенно отличаются от их форм нахождения в углях, не подвергшихся гидротермальным изменениям или же слабо проработанных ими [3; 4]. Это можно определить по значениям коэффициента сродства (F), который показывает отношение содержания элементов в легкой (плотность менее  $1,4 \text{ г/см}^3$ ) и тяжелой (плотность более  $1,6 \text{ г/см}^3$ ) фракциях угля.

В процессе исследований анализировались пробы, отобранные из пласта  $h_3$  в непосредственной близости от рудного тела Никитовского рудного поля. Определено, что угольный пласт  $h_3$  залегает в кровле рудного тела, в нем отмечаются линзы и стяжения диагнетического пирита, пронизанные тонкими прожилками кварца, пирита, карбонатов, диккита, киновари и других гидротермальных минералов. В процессе исследований по значению указанного коэффициента рассчитаны ряды сродства (табл. 1).

Установленные ряды сродства элементов с органическим веществом и минеральной частью во фракциях углей существенно отличаются от вышеназванного ряда сродства бурых углей [6]. Анализ рядов сродства в каменных углях вблизи рудно-рудных тел показывает, что в них значительно больше элементов, связанных с минеральной частью угля, чем в бурых углях, а элементов, связанных с органической частью углей, наоборот, меньше. Выявлено, что в исследованных образцах каменных углей только 2 элемента – Ве и У – можно уверенно связать с органическим веществом. В бурых углях с органическим веществом связано, кроме Ве, значительно больше элементов: Ge, W, Ga и Nb.

Отмечено, что Ве и У наиболее тесно связаны с органическим веществом во фракции угля, плотность которой составляет более  $1,8 \text{ г/см}^3$ . В процессе исследований установлено, что указанные элементы накапливаются в органическом веществе за счет сорбции и связаны с гелифицированным веществом.

В наиболее тяжелых фракциях угля (плотность  $1,75 - 1,80$  и более  $1,8 \text{ г/см}^3$ ) коэффициент сродства Hg с органическим веществом очень низкий, что позволяет, учитывая формы нахождения, уверенно отнести ее к минеральной части угля. Вместе с тем во фракциях угля, плотность которых ниже  $1,75$ , коэффициент ее сродства с органическим веществом больше  $1,0$ , что указывает на связь аномальных ее содержаний с органической частью угля. Это связано с тем, что кроме сульфидной, металлической и изоморфной форм Hg она установлена в гуминовых кислотах, особенно вблизи рудных тел.

Зафиксировано, что с органическим веществом во фракциях угля с плотностью  $1,75 - 1,8 \text{ г/см}^3$  наиболее тесно связан Ge.

Выявлено, что коэффициенты сродства преобладающего большинства халькофильных, редких и рассеянных элементов с органической частью угля очень низкие, что гарантирует их связь с минеральными компонентами угля. Особенно характерно это для Sb и As, так как коэффициенты сродства Sb и As во всех

фракциях угля наиболее низкие и они замыкают их ряды. Проанализировано, что в углях фракции больше 1,8 г/см<sup>3</sup> они наиболее низкие, что отображает их весьма тесную связь с киноварью, пиритом и другими сульфидами металлов. Низкие коэффициенты сродства в угле фракции более 1,8 г/см<sup>3</sup> характерны для Li, Mo, Zn, Co, Pb, а также других элементов, которые связаны с присутствием в минеральной части пирита и других сульфидов.

Таблица 1

**Сопоставление коэффициентов сродства элементов в органическом веществе во фракциях угля (пласт h<sub>3</sub>, марка угля Ж, Никитовское рудное поле)**

Ряды коэффициентов сродства	Фракция угля				
	1,60 – 1,65	1,65 – 1,70	1,70 – 1,75	1,75 – 1,80	> 1,8
	2,2 Be >	2,7 Be >	3,0 Be >	2,6 Be >	4,71 Be >
	1,7 Y >	1,7 Y >	1,7 Y >	1,6 Y >	1,4 Y >
	1,3 Hg >	1,1 Hg >	1,0 Ag, Hg >	1,2 Ge >	1,0 >
	1,0 >	1,0 >	0,8 Cu >	0,8 Cu, Ag >	0,5 Cu >
	1,0 Cu, Pb, Ag >	0,9 Pb >	0,7 Pb, Mo >	0,6 Ni >	0,5 Ni, Ge >
	0,8 Ni, Mo >	0,8 Cu, Ag >	0,6 Ni >	0,5 Mo, Sc, Hg >	0,4 Ag, Sc >
	0,6 Co, Sc >	0,7 Ni, Mo >	0,5 Co, Zn, Sc >	0,4 Zn, Co, Ga, Li >	0,3 Pb, Ga >
	0,5 Zn, Ge, Li, Ga >	0,6 Zn >	0,4 Ga, Ge, As >	0,2 Pb, As >	0,2 Co, Zn, Li, Mo, Hg >
0,3 As, Sb >	0,5 Co, Ga, Ge, Sc, Li, As >	0,3 Li >	0,09 Sb >	0,1 As >	
	0,2 Sb	0,2 Sb		0,003 Sb	

Необходимо отметить, что приведенный выше коэффициент сродства отображает связь элементов с органической и минеральной частями угля. Он не показывает распределение общего количества элементов в органической и минеральной частях угля. Для этих углей применяется коэффициент  $I_i = C_i/C_0$ , отображающий относительную концентрацию микроэлемента во фракции, где  $C_i$ ,  $C_0$  соответственно содержание микрокомпонентов во фракции и исходном угле, выделенном из фракции.

Ниже приведено сопоставление коэффициента концентрации микроэлементов во фракциях угля, в пробах, отобранных из пласта h<sub>3</sub>, расположенного в пределах Никитовского рудного поля (табл. 2). Фракцию угля называют концентратом микроэлемента, если коэффициент  $I_i$  больше 1,0. Приведенные данные (табл. 2) демонстрируют, что наибольшее количество микроэлементов концентрируется во фракции угля, плотность которой составляет 1,8 г/см<sup>3</sup>.

**Сопоставление коэффициентов концентрации  
микроэлементов (Pi) во фракциях угля  
(пласт h<sub>3</sub>, марка угля Ж, Никитовское рудное поле)**

	Фракция угля				
	1,60 – 1,65	1,65 – 1,70	1,70 – 1,75	1,75 – 1,80	> 1,8
Ряды коэффициентов Pi	18	25	38	66	197
	Sb	Sb	Sb	Sb	Sb
	8	7	8	17	38
	Be	Hg	Hg	Hg	Hg
	6	6,7	6	7	14
	Hg	Be	Be	As	As
	4,6	3,1	4	6,6	4
	As	Ge, As	Ge	Be	Be
	3,5	2,9	3,8	3,5	3,6
	Ge	Y	As	Pb	Y, Ge
	1,5	1,3	1,8	1,7	2,3
	Sc	Li	Li	Sc	Pb
	1,2	1,2	1,6	1,6	2,1
	Li	Cu	Sc	Li	Co
	1,0	1,0	1,2	1,4	2,0
	Cu, Ga		Ga, Cu	Ge	Sc
0,8	0,9	1,0	1,2	1,8	
Co, Ag		Pb	Cu		
	0,9	0,9	1,1		
	Co	Co	Co, Ga		
0,7	0,7	0,8	1,0	1,6	
Pb		Ag	Ag		
0,6	0,5	0,7	0,9	1,3	
Zn, Mo		Mo	Mo		
	Ni, Zn	0,6	0,7	1,3	
		Zn	Zn	Zn	
0,4		0,5	0,6	0,7	
Ni		Ni	Ni	Ni	

Установленная особенность характерна как для халькофильных элементов – Cu, Zn, Pb, Sb, As, так и других элементов – Ba и Zr. Преимущественная концентрация приведенных элементов в указанных двух фракциях угля характерна и для элементов группы железа – Ti, V, Cr, Mn, Co, Ni. Способность накапливаться в указанных двух фракциях угля зафиксирована и для литофильных элементов – Al, SiO<sub>2</sub>, Ca, Mg, она же характерна и для группы рассеянных элементов – Li, Sc, Ga. Представляется, что фракция угля, плотность которой больше 1,8 г/см<sup>3</sup> почти полностью состоит из гидротермального и диагенетического пирита. В ней концентрируются киноварь, а также другие минералы гидротермального генезиса – кварц, карбонаты, хлорит, диксит и т.д. Обнаружено, что распределение Be и Y существенно отличается от распределения Hg других халькофильных элементов. Наиболее высокое содержание указанных элементов выявлено во фракциях угля, меньше 1,5 г/см<sup>3</sup>, сложенных преимущественно витринитом и фюзинитом, где Be и Ga, вероятно, связаны с органическими микрокомпонентами.

**Выводы.** Выявленные в процессе исследований особенности влияния гидротермальных процессов на распределение микроэлементов и форм их нахождения в каменных углях являются весьма существенным признаком

геотектонических структур угольного бассейна. Необходимо изучить связь токсичных элементов и редких элементов с основными компонентами углей, продолжить работы по изучению форм нахождения в углях всех токсичных и потенциально токсичных элементов как потенциальных источников загрязнения окружающей природной среды. Это поможет более детально проанализировать все геологические и геохимические факторы локализации элементов гидротермального и осадочного генезиса в углях с целью получения достоверного прогноза содержания токсичных и редких элементов в данных угольных пластах.

Особенности влияния гидротермальных процессов на распределение элементов и форм их накопления в каменных углях необходимо учитывать при определении потенциальных ресурсов токсичных и редких элементов для их селективной добычи на территории Северо-Восточного Донбасса.

### Библиографические ссылки

1. **Bagataev, R. M.** Geologicheskoe izuchenie i osvoenie Nikitovskih rtutnyh mestorozhdenij Donbassa [Text]/ R. M. Bagataev, V. M. Rogovoj. – M.: Nauch. mir, 2011. – 182 s.
2. Geologija mestorozhdenij uglja i gorjuchih slancev SSSR [Text]: v 12 t. – M.: Gosgeotekhizdat, 1963. – T.1: Donbass. – 1210 s.
3. **Gorovoj, A.F.** Mineralogija i geohimija rtutnyh mestorozhdenij Donbassa [Text]/ A. F. Gorovoj. – K.: Vishha sh., 1987. – 104 s.
4. **Gruba, V. I.** Mineralogija Doneckogo bassejna [Text]/ V. I. Gruba, E.K. Lazarenko, B. S. Panov. – K.: Nauk. Dumka, 1975. – Ch. 1. – 71-99 s.
5. **Kler, V.R.** Neorganicheskie komponenty tverdyh topliv [Text]/ V. R.Kler, I.Z.Percikov. – M.: Himija, 1991. – 221s.
6. Metallogenija i geohimija uglenosnyh i slancesoderzhashhih tolshh SSSR: Zakonomernosti koncentracii jelementov i metody ih izuchenija [Text]/ V.R.Kler [at al.] – M.: Nauka, 1988. – 256 s.
7. On pollution of the biosphere in industrial areas: the example of the Donets coal Basin [Text]/ B. Panov, A. Dudik, O. Shevchenko, E. Matlak// International J. of coal geology. – 1999. – № 40. – P. 199 – 210.
8. **Vinogradov, A.P.** Srednie sodержanija himicheskikh jelementov v glavnyh tipah izverzhennyh gornyh porod zemnoj kory [Text]/ A.P. Vinogradov // Geohimija. – 1962. – № 7. – S. 555 – 571.

*Надійшла до редколегії: 24.02.2015*