

## О РАСПРЕДЕЛЕНИИ ТОКСИЧНЫХ И ПОТЕНЦИАЛЬНО ТОКСИЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В УГЛЕ ПЛАСТА С<sub>6</sub><sup>H</sup> ШАХТЫ «ТЕРНОВСКАЯ» ПАВЛОГРАД-ПЕТРОПАВЛОВСКОГО ГЕОЛОГО-ПРОМЫШЛЕННОГО РАЙОНА

*В.В. Ишков, Е.С. Козий, Государственный ВУЗ «Национальный горный университет»,  
Украина*

Рассмотрены особенности распределения токсичных и потенциально токсичных элементов в угольном пласте с<sub>6</sub><sup>H</sup> поля шахты Терновская.

Исследуемая территория расположена в пределах Павлоград-Петропавловского геолого-промышленного района Западного Донбасса и административно относится к Павлоградскому району Днепропетровской области. Возрастание требований к охране окружающей среды обуславливает потребность в новых научно обоснованных методах прогноза содержаний токсичных элементов в добываемой шахтами горной массе и отходах добычи и углеобогащения. Особая актуальность данной проблемы определяется Законом Украины «О недрах», постановлениями кабинета министров Украины № 22 от 30.09.1995 г. и № 688 от 28.06.1997 г., а также нормативными документами ГКЗ.

Ранее В.В. Ишковым совместно с А.И. Чернобук, Д.Я. Михальчонок, В.В. Дворецким [1, 2] исследованы особенности распределения некоторых токсичных и потенциально токсичных элементов в продуктах и отходах обогащения ряда углеобогащительных фабрик Донбасса. В то же время, рассмотрение и анализ распределения токсичных и потенциально токсичных элементов в углях пласта с<sub>6</sub><sup>H</sup> шахты Терновской Павлоград-Петропавловского геолого-промышленного района ранее не выполнялось.

Цель работы: установить закономерности в распределении токсичных и потенциально токсичных элементов в угле пласта с<sub>6</sub><sup>H</sup>, одного из основных рабочих пластов поля шахты «Терновская» ПАО «ДТЭК Павлоградуголь».

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи: установить характеристики распределения основных технологических показателей угля и токсичных и потенциально токсичных элементов; выявить пространственные закономерности в распределении изучаемых элементов; определить состав геохимических ассоциаций токсичных и потенциально токсичных элементов и их связь с органической и минеральной составляющей угля; рассчитать уравнения регрессии между токсичными и потенциально токсичными элементами и технологическими показателями угля.

Рассмотрение распределения токсичных и потенциально токсичных элементов в геологических объектах различного характера и масштаба, является необходимой основой для изучения законов их миграции, концентрации и рассеяния. Особенность выполненных исследований заключалась в отсутствии возможности непосредственного наблюдения этих процессов. Обычно, в этом случае рассмотрение динамики процессов выполняется на основе сравнения данных о статистическом распределении химических элементов в рассматриваемых объектах. В дальнейшем эти результаты теоретически осмысливаются при анализе их физико-химических и геологических особенностей.

Таким образом, информация о распределении химических элементов в геологических объектах является исходным пунктом исследования, идущего от обобщения фактического материала, через его теоретическое осмысление к проверке выявленных закономерностей опытным путем.

На начальном этапе обработки первичной геохимической информации с помощью программ Excel 2000 и STATISTICA 6.0 рассчитывались значения основных описательных статистических показателей (выборочного среднего арифметического, его стандартной ошибки, медианы, эксцесса, моды, стандартного отклонения, дисперсии выборки, минимального и максимального значения содержания, коэффициент вариации, асимметрии выборки), выполнялось построение частотных гистограмм содержаний и установление

закона распределения исследуемых элементов.

С целью выявления состава геохимических ассоциаций, были рассчитаны по программе STATISTICA 6.0 коэффициенты корреляции Пирсона между содержаниями токсичных, потенциально токсичных и других элементов – примесей углей. В единую геохимическую ассоциацию объединялись элементы по абсолютной величине не менее двух коэффициентов корреляции превышающей 0,5 с уровнем значимости не менее 95%.

При оценке связи токсичных и потенциально токсичных элементов с органической или минеральной частью угля использовались коэффициенты сродства с органическим веществом  $F_0$  показывающий отношение содержания элементов в углях с малой (<1,6) и высокой плотностью (> 1,7), коэффициенты приведенной концентрации  $F_{пк}$ , показывающие отношение содержаний элементов в фракции  $i(C_i)$  к содержанию в исходном угле, коэффициенты корреляции содержаний исследуемых элементов и зольности угля и коэффициенты приведенного извлечения элемента в фракции различной плотности.

При построении всех карт использовалась программа Surfer 11.

Закономерности изменения содержания Hg. Первая аномалия содержания ртути (рис. 1) расположена в центральной части шахтного поля с максимумом концентрации в скважине №2606 с содержанием Hg 3,7 г/т, ограничена скважинами №1426, №2588, №1402, №909. Она расположена на участке ортогонального пересечения серии разломов северо-западного и юго-западного простирания. Градиент изменчивости содержания Hg в широтном направлении составляет 0,0043 г/м, в меридиональном – 0,0054 г/м.

Вторая аномалия расположена в северо-восточной части шахтного поля, ограничена скважинами №2678, №6213, №5863, №909. В ее пределах максимальная концентрация отмечена в скважине №6217, в которой содержание Hg составляет 3,4 г/т. С северо-востока аномалия примыкает к границе шахтного поля. Для аномалии установлены следующие градиенты изменения содержания: в широтном направлении -0,0031 г/м, в меридиональном – 0,0035 г/м.

Карта тренда концентрации ртути на рис. 2 показывает пространственное увеличение содержания ртути в угле пласта сбн в северо-восточном направлении. Вариации содержания ртути по шахтному полю составляет от 0,04 до 3,7 г/т.

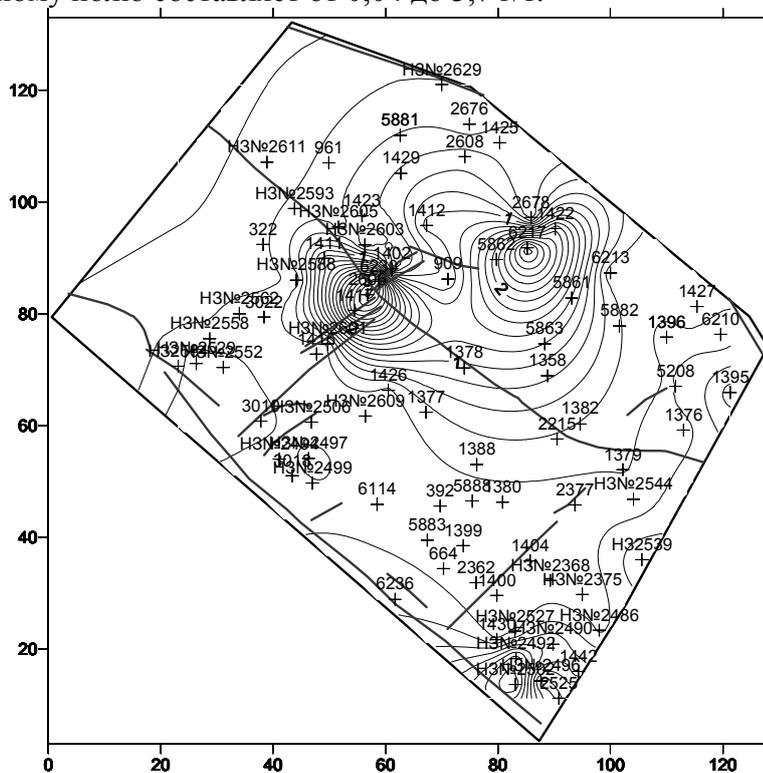


Рис.1. Карта изоконцентрат Hg в угле пласта  $C_6^H$

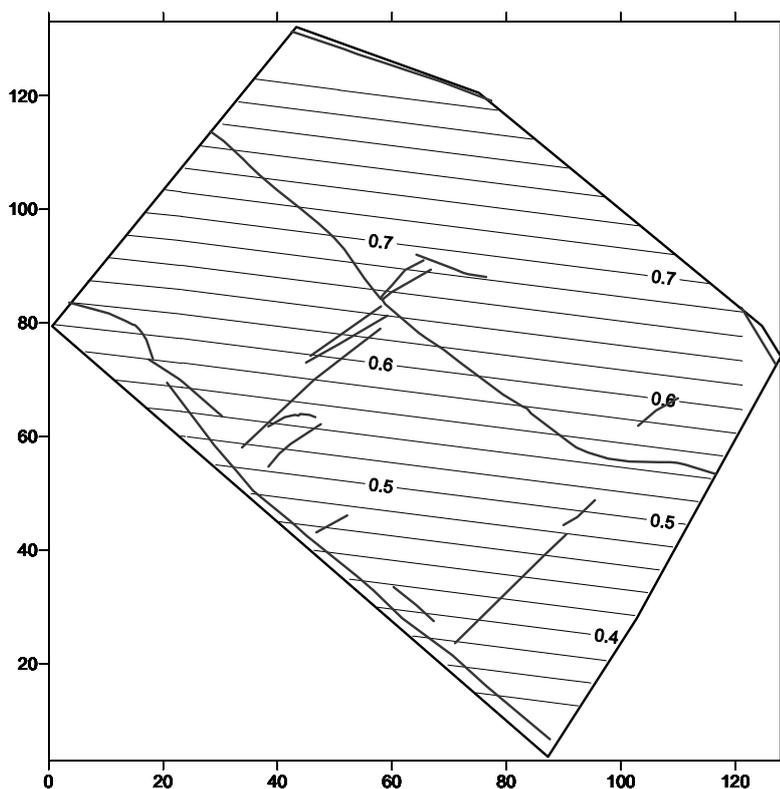


Рис.2. Карта тренда изоконцентрат Hg в угле пласта с<sub>6</sub><sup>н</sup>

В целом установлено, что ртуть образует геохимическую ассоциацию с мышьяком (значимый коэффициент корреляции Пирсона 0,78), бериллием (значимый коэффициент корреляции Пирсона 0,56), марганцем (значимый коэффициент корреляции Пирсона 0,57). Линейные уравнения регрессии, характеризующие связи ртути с входящими в ассоциацию элементами, а также с основными технологическими показателями:

$$\begin{aligned} \text{Hg} &= -0,621 + 0,012 \times \text{As}; & \text{Hg} &= -0,429 + 0,235 \times \text{Be}; & \text{Hg} &= -0,397 + 0,0167 \times \text{Mn}; \\ & & \text{Hg} &= -0,346 + 0,105 \times \text{Ad}; & \text{Hg} &= -0,371 + 0,395 \times \text{S}_{\text{общ.}} \end{aligned}$$

Закономерности изменения содержания As. В пределах шахтного поля можно выделить две значительные аномалии (Рис. 3). Первая положительная аномалия содержания мышьяка находится в центральной части пласта, в ее области максимальное содержание отмечено по пробе из скважины №6230 - As 280 г/т. Аномалия ограничена скважинами №1426, №2588, №1402, №909 и расположена на участке ортогонального пересечения серии разломов северо-восточного и юго-западного простирания. Градиент изменчивости содержания As в широтном направлении составляет 0,4 г/м, в меридиональном – 0,2 г/м.

Вторая аномалия расположена в северо-восточной части шахтного поля, ограничена скважинами №2678, №6213, №5863, №5862. Максимального значения концентрация As достигает в скважине №6217, где она составляет 230,6 г/т. С северо-востока аномалия непосредственно примыкает к границе шахтного поля. Для нее установлены следующие градиенты изменения содержания: в широтном направлении -0,1846 г/м, в меридиональном – 0,1333 г/м.



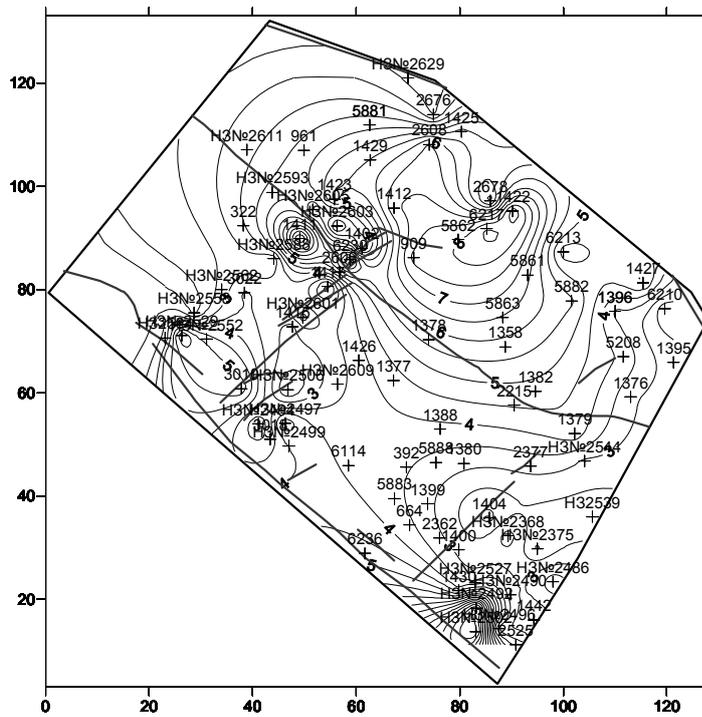


Рис.4. Карта изоконцентрат Ве в угле пласта с<sub>6</sub><sup>н</sup>

Результаты корреляционного анализа позволяют утверждать, что в пределах шахтного поля по пласту с<sub>6</sub><sup>н</sup> бериллий образует геохимическую ассоциацию в углях с ртутью (значимый коэффициент корреляции Пирсона 0,56), мышьяком (значимый коэффициент корреляции Пирсона 0,49), фтором (значимый коэффициент корреляции Пирсона 0,89), марганцем (значимый коэффициент корреляции Пирсона 0,98).

Ниже приведены рассчитанные уравнения регрессии, характеризующие связи бериллия с входящими в ассоциацию элементами, а также с основными технологическими показателями углей:

$$\begin{aligned} \text{Be} &= 3,494 + 1,327 \times \text{Hg}; \text{Be} = 2,478 + 0,018 \times \text{As}; \text{Be} = 0,411 + 0,049 \times \text{F} \\ \text{Be} &= 0,257 + 0,069 \times \text{Mn}; \text{Be} = 0,845 + 0,391 \times \text{Ad}; \text{Be} = 2,065 + 0,916 \times \text{S}_{\text{общ.}} \end{aligned}$$

Закономерности изменения содержания F. Анализ карты изоконцентрат этого элемента (Рис. 5) позволяет выделить две основные аномалии.

Первая положительная аномалия содержания фтора находится в центральной части шахтного поля и достигает максимума в пластопересечении скважиной №1411 – с содержанием в пробе F 166 г/т. Аномалия ограничена скважинами №322, НЗ №2605, №1417, НЗ №2588 и с северо-восточной стороны примыкает к разлому. Градиент изменчивости содержания F в широтном направлении составляет 0,32 г/м, в меридиональном – 0,2133 г/м.

Вторая аномалия расположена в южной части шахтного поля, ограничена скважинами НЗ №2527, НЗ №2490, №2525, с юго-запада аномалия граничит с границами горного отвода шахтного поля. Максимальное значение на площади аномалии обусловлено результатами опробования керна по пластопересечению скважины №2502 с содержанием F 188 г/т. Аномалия характеризуется следующими градиентами изменения концентрации F: в широтном направлении -0,3077 г/м, в меридиональном – 0,2476 г/м.

Величина изменения содержания фтора в углях пласта по шахтному полю составляет от 29 до 188 г/т.

В работе использованы результаты 26 фракционных анализов угля пласта с<sub>бн</sub> поля шахты «Терновская». В дальнейшем каждая из фракций была подвергнута количественному спектральному анализу в лаборатории КП «Южургеология». В табл. 1 приведены результаты фракционного анализа углей и преимущественного накопления исследуемых элементов во фракциях разной плотности.

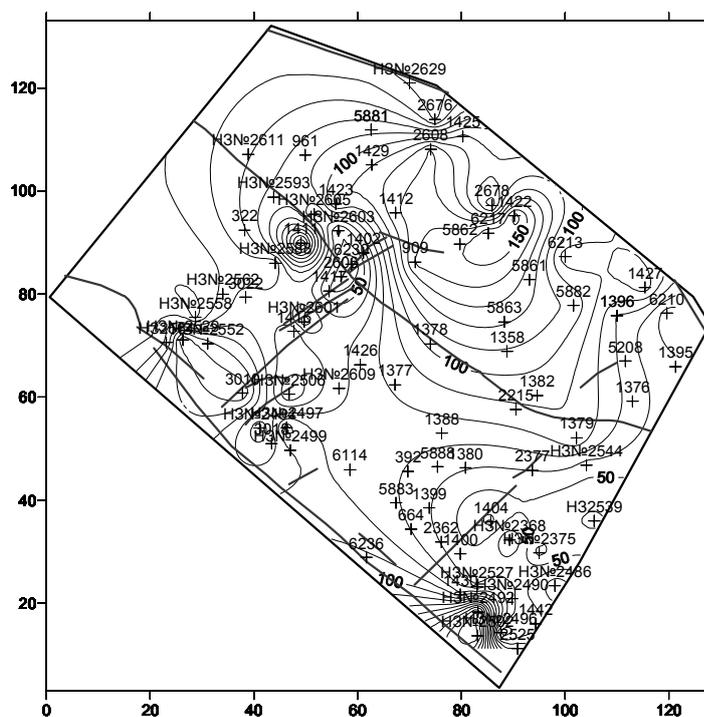


Рис.5. Карта изоконцентрат F в угле пласта с<sub>6</sub><sup>H</sup>

Установлено, что фтор образует геохимическую ассоциацию с бериллием (значимый коэффициент корреляции Пирсона 0,89), марганцем (значимый коэффициент корреляции Пирсона 0,88).

Линейные уравнения регрессии, характеризующие связи фтора с входящими в ассоциацию элементами, а также с основными технологическими показателями:

$$F = 9,455 + 16,175 \times Be; F = 13,741 + 1,109 \times Mn$$

$$F = 22,505 + 6,386 \times Ad; F = 52,269 + 10,884 \times S_{\text{общ.}}$$

Таблица 1

Be, F	V, Pb, Cr, Ni	Co	Mn	Hg, As
<1,3 т/м <sup>3</sup>	1,3 – 1,4 т/м <sup>3</sup>	1,4 – 1,5 т/м <sup>3</sup>	1,5 – 1,6 т/м <sup>3</sup>	>1,6 т/м <sup>3</sup>

Анализ данных, приведенных в табл. 1 позволяет установить следующий ряд сродства токсичных и потенциально токсичных элементов с органической частью угля:

$$Be, F, V, Pb, Cr, Ni > Co > Mn, Hg, As$$

Таким образом, установлено, что в органической части угля концентрируется преобладающее количество Be, F, V, Pb, Cr и Ni, в минеральной составляющей - Mn, Hg и As, а кобальт – распределен равномерно между органической и минеральной частями.

В таблице 2 приведены рассчитанные по 94 пробам средние значения содержаний токсичных и потенциально токсичных элементов в угле пласта с<sub>6</sub>н шахты «Терновская» ПАО «ДТЭК Павлоградуголь», данные о их ПДК [3] и средних концентрациях в угле пластов Павлоград-Петропавловского района и Донбасса [4].

**Выводы.** Полученные в процессе исследований результаты позволяют сформулировать следующие основные выводы:

1. Установлен ряд сродства токсичных и потенциально токсичных элементов к органическому веществу углей:

$$Be, F, V, Pb, Cr, Ni > Co > Mn, Hg, As.$$

2. Аномально высокие содержания зольности, серы общей, Hg, As, Mn, и ряд аномалий Co пространственно приурочены к участкам разрывных тектонических нарушений и генетически связаны с минерализацией трещиноватых зон. Накопление в угле пласта

основной части этих элементов, соединений серы и минеральных компонентов происходило после формирования угленосных отложений, в результате процессов эпигенеза.

Таблица 2

Токсичные и потенциально токсичные элементы	ПДК в углях, г/т	Средние содержания в угле пласта с <sub>6</sub> <sup>H</sup> по шахте, г/т	Средние содержания в угле пластов Павлоград-Петропавловского района, г/т	Средние содержания в угле пластов Донецкого бассейна
Hg	1	0,57±0,01	0,29±0,01	0,27±0,01
As	300	100,7±0,6	18,0±1,6	65,5±0,6
Be	50	4,26±0,03	3,00±0,03	3,91±0,03
F	500	78,3±1,1	29,8±1,2	36,8±1,1
Mn	1000	58±2,5	93±2	252±2,5
Pb	50	6,9±0,1	9,6±0,	10,9±0,1
Ni	100	15,9±0,4	20,1±0,4	19,5±0,4
V	100	22,2±0,1	15,4±0,2	31,1±0,1
Cr	100	16,7±0,3	18,5±0,9	20,6±0,3
Co	100	6,9±0,1	6,0±0,1	8,1±0,1

3. Все аномально высокие концентрации Be, F, Pb, Ni, Cr, V и часть аномалий Co пространственно приурочены к участкам уменьшения мощности угольного пласта, что объясняется обогащением этими элементами приконтактных участков пласта мощностью 15 – 20см. Накопление основной части этих элементов происходило на этапе формирования палеоторфяника.

4. Средние концентрации Hg, As, Be, F, V и Co в угле пласта с<sub>6</sub>н превышают установленные ранее [4] их средние значения в углях Павлоград-Петропавловского района, а средние содержания Hg, As, Be и F выше их средних концентраций в углях Донбасса. Все средние содержания исследованных элементов ниже ПДК и только рядовые содержания Hg в пределах выявленных аномальных зон превышают ПДК.

Основное **научное значение** полученных результатов заключается в установлении ряда родства токсичных и потенциально токсичных элементов с органическим веществом угля, состава их геохимических ассоциаций и расчете средних содержаний этих элементов в углях пласта с<sub>6</sub>н шахты «Герновская».

**Практическое значение** полученных результатов состоит в построении карт изоконцентрат токсичных и потенциально токсичных элементов, установлении пространственного положения аномально высокого их содержания и расчете уравнений регрессии, позволяющих прогнозировать содержания этих элементов в угле пласта.

#### Список литературы

1. Ишков В.В., Чернобук А.И., Дворецкий В.В. О распределении бериллия, фтора, ванадия, свинца и хрома в продуктах и отходах обогащения Краснолиманской ЦОФ. // Науковий вісник НГАУ. 2001. -№5. - С. 84-86.
2. Ишков В.В., Чернобук А.И., Михальчонок Д.Я. О распределении бериллия, фтора, ванадия, свинца и хрома в продуктах и отходах обогащения Добропольской ЦОФ. // Науковий вісник НГАУ. -2001. – №4. – С. 89-90.
3. Инструкция по изучению токсичных компонентов при разведке угольных и сланцевых месторождений. - Под ред. В.Р. Клера. - М.: Инст. литосферы АН СССР, 1982. - 84 с.
4. Ишков В.В. Проблеми геохімії «малих» і токсичних елементів у вугіллі України // Наук. вісник НГА України. -№1. –Дніпропетровськ, НГАУ, 1999. –с. 128 – 132.