

Д-р техн. наук С.И. Скипочка,  
д-р техн. наук Т.А. Паламарчук,  
инж. Д.А. Суворов  
(ИГТМ НАН Украины)

## **О ВОЗМОЖНОСТИ ПРОГНОЗА ВЫБРОСООПАСНОСТИ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ МЕТОДОМ РЕНТГЕНОСТРУКТУРНОГО АНАЛИЗА**

Розглянуто питання можливості прогнозу викиднебезпечності вугільних пластів методом рентгеноструктурного аналізу

## **ABOUT POSSIBILITY PROGNOSTIC OF THE COAL-SEAM'S OUTBURSTS BY THE X-RAYING ANALYSES METHOD**

The possibility prognostic of the coal-seam's outbursts by the X-raying analyses method are describe

С возрастом глубиной горных работ увеличивается количество шахтопластов, опасных по внезапным выбросам угля и газа. Этот факт представляет серьезную опасность для работы шахтеров, поэтому требует разработки и использования новых, более информативных методов прогнозирования выброса. В настоящее время используется несколько способов прогнозирования выбросоопасных зон, которые базируются на большом эмпириоаналитическом материале, однако их применение часто не позволяет получить объективную и качественную оценку выбросоопасности. Надежное прогнозирование позволяет повысить безопасность ведения горных работ и темпов угледобычи на выбросоопасных угольных пластах, дает возможность более рационального применения мер борьбы с внезапными выбросами. Существующие способы прогноза позволяют в ряде случаев достаточно правильно оценить выбросоопасное состояние угольного массива, однако на их показатели большое влияние оказывают факторы, не имеющие прямой связи с выбросоопасностью. При прогнозировании выбросоопасных зон в угольных пластах, в основном, проводится оценка таких факторов, как горное давление, энергия газа и структура угля, причем наиболее важным при дальнейшей оценке считается фактор нарушенности угля. Указанные параметры, характеризующие степень выбросоопасности, можно отнести к прямым методам изучения напряженного состояния угольного массива. Однако часто не удается применить прямые методы изучения, т.к. чисто технически это в ряде случаев невозможно.

В то же время известно, что в состав ископаемых углей, помимо органической части, входят различные минеральные вещества. Показано, что учет их роли необходим как для изучения условий формирования угольных пластов, установления влияния состава и строения минеральных включений на свойства углей, так и для разработки методов прогнозирования выбросов в угольных пластах. [1-8]. В связи с этим, большое значение приобретают физико-химические методы изучения структуры угля в опасных по выбросам районах,

основанные на изучении свойств минеральных примесей, сопутствующих расположенным там угольным пластам [9].

Одним из наиболее часто используемых методов является изучение кристаллической структуры методом рентгеноструктурного анализа вещества. Необходимо отметить, что состав минеральных веществ в угольных пробах непостоянен, что усложняет использование целого ряда методов изучения структуры вещества, основанного на сравнительном анализе чистых фаз органики и исследуемого вещества. Высокая проникающая способность рентгеновского излучения и малая длина волны излучения, соизмеримая с межатомными расстояниями, позволяют использовать это излучение для изучения структуры аморфных и кристаллических веществ. Этот метод позволяет изучить условия формирования угольных пластов, физико-химические свойства как органической части угля, так и минеральных включений.

Каждая кристаллическая фаза минеральной примеси дает индивидуальную картину на рентгенограмме, которая определяется межплоскостными расстояниями  $d$  и их интенсивностью. Идентификация кристаллической фазы производится путем сравнения межплоскостных расстояний и интенсивности рентгеновских дифрактограмм исследуемых веществ и данных каталогов. Расчет межплоскостных расстояний проводится по формуле Вульфа-Брэгга.

Использование методов рентгенофазового анализа позволяет определить не только фазовый состав углей, но и распределение минеральных веществ в них, не прибегая к предварительному озолению угольных проб.

В ряде работ указывается, что анализ минеральных включений проводится, прежде всего, для определения условий формирования угольного вещества и установления влияния состава и строения минеральных включений на его свойства. Минеральные примеси в углях подразделяются на две группы: терригенные минеральные включения и минеральные новообразования. Кроме глинисто-сланцевых минералов в углях обнаружены кварц, карбонаты (кальцит, доломит, сидерит), железосодержащие минералы (пирит и в малых количествах гидроксиды железа). При использовании метода рентгеноструктурного анализа для исследования молекулярной и надмолекулярной структуры основное внимание уделялось, прежде всего, условиям формирования угля. Нами предлагается использовать данный метод изучения структуры минеральных включений с позиции формирования выбросоопасных и выбросонеопасных угольных пластов.

При формировании угольных массивов, на стадии диагенеза, происходит одновременное зарождение определенных видов минеральных включений. Эти включения образуются при определенных термодинамических условиях и могут служить своего рода характеристиками конкретных угольных пластов. В зависимости от условий формирования угольного массива, определяемых горным давлением, температурой среды и другими физико-химическими параметрами, происходит формирование угольного вещества с определенным видом структурированности (кларен, дюрен, витрен, фюзен), а для минеральных примесей это определяется видом симметрии решетки. Рентгеноструктурный анализ позволяет определять, прежде всего, кристаллическую структуру минеральных

включений в угле. По этим изменением структуры возможно воссоздание тех термодинамических условий, в которых происходило как углеобразование, так и формирование данных минеральных веществ. Это значит, что между степенью структурированности угольного вещества и видом кристаллической решетки минеральных включений существует связь, определяемая теми термодинамическими условиями, при которых происходят эти процессы.

При проведении исследований методом рентгеноструктурного анализа были взяты образцы угольного пласта 11, с глубины 1040 м, марки ЖК, в 10-м западном конвейерном штреке шахты им. А.Ф. Засядько. При этом один образец был взят с места выброса, происшедшего 17.10.2002 г. (образец №1), второй образец (образец №2), для сравнения, был отобран с невыбросоопасного места в той же выработке.

Рентгеноструктурный анализ данных образцов проводился на рентгеновском дифрактометре «Дрон-3» в комплексе с ЭВМ типа IBM. Съемка дифрактограмм проводилась в монохроматизированном  $\text{Co-K}\alpha$  излучении при напряжении на аноде 30 кВ и токе трубки 20 мА.

В результате расшифровки дифрактограмм было установлено, что в образце угля №1 (рис. 1) кроме аморфного угля (два широких аморфных гало: углы 15-40 град. и 40-75 град.) присутствует минерал ларнит ( $\square$ - $\text{Ca}_2\text{SiO}_4$ ), которому соответствуют линии с межплоскостным расстоянием: 0,302; 0,289; 0,269 и 0,205 нм.

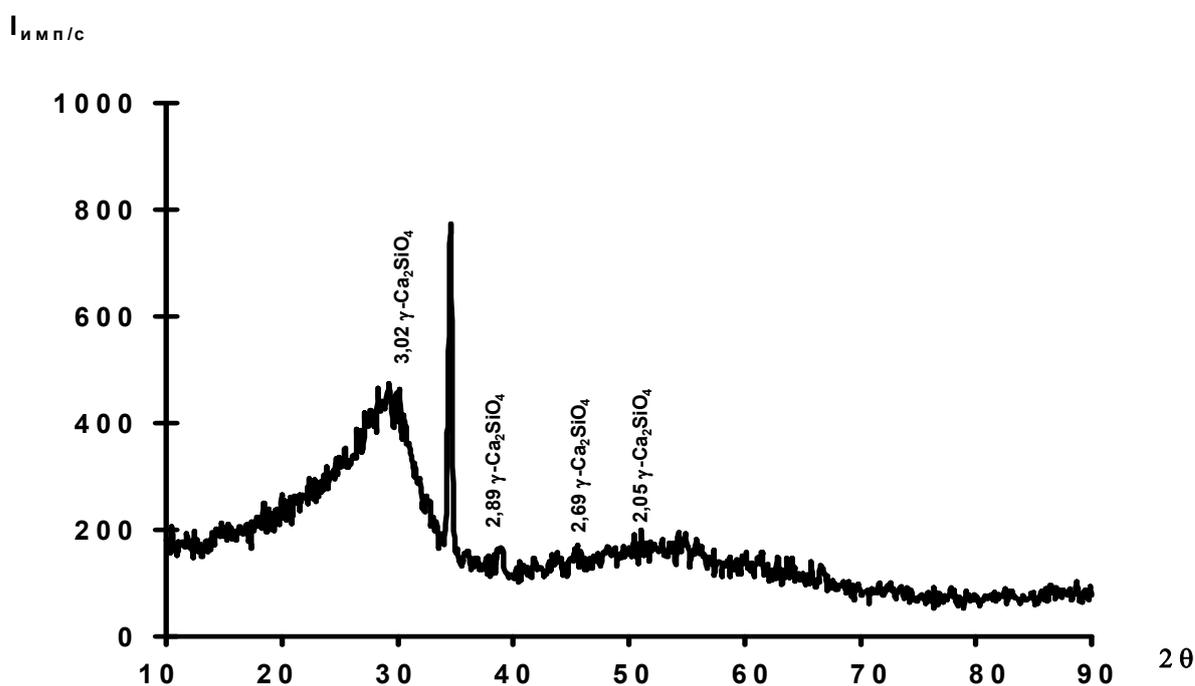


Рис. 1 – Рентгеновская дифрактограмма образца №1

Для образца №2 (рис. 2) аморфный уголь дает слабое отражение в виде аморфного гало (углы 10-40 град.) и мощные отражения  $\square$ -кварца (линии с межплоскостным расстоянием 0,425; 0,334; 0,245; 0,212; 0,198; 0,167; 0,154; 0,137 нм), каолинита  $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$  (линии с межплоскостным расстоянием:

0,717; 0,357; 0,256; 0,238 нм) и возможно присутствие минерала монтмориллонита ( $\text{Ca}_{0,94}\text{Na}_{0,01}\text{Mg}_{0,36}\text{Fe}_{0,02}\text{Al}_{1,75}\text{Si}_{3,87}\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 1,078\text{H}_2\text{O}$ ).

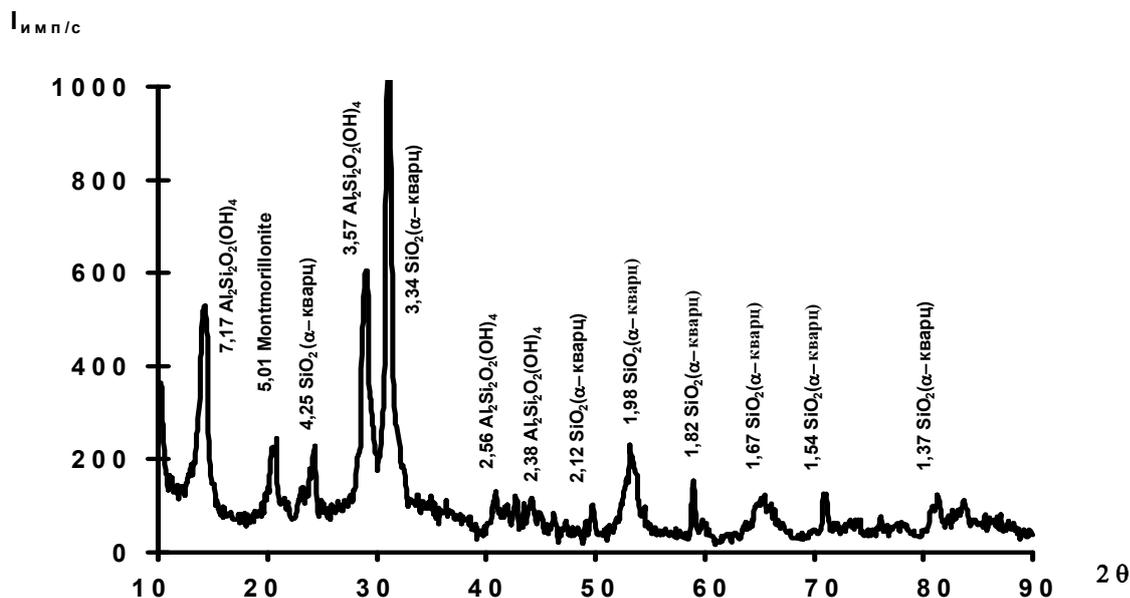


Рис. 2 – Рентгеновская дифрактограмма образца №2

При этом в образце из выбросоопасного угольного пласта обнаружена метастабильная  $\gamma$ -фаза минерала ларнита, которая может возникать при неравновесных термодинамических условиях.

При незначительном изменении температуры и давления возможен переход  $\gamma$ -фазы ларнита в другие кристаллические формы: волластонит, пирит, которым соответствуют другие виды симметрии и, соответственно, другие термодинамические условия образования минеральной структуры. Таким образом, выполненные рентгенофазовые исследования позволяют сделать следующие выводы:

- угольное вещество как до, так и после выброса характеризуется хорошо выраженной аморфной структурой;
- рентгеновские дифрактограммы четко фиксируют минеральные примеси;
- в процессе выброса угля структура существующих в угле минеральных примесей нарушается, переходя в аморфное состояние;
- в процессе выброса угля формируется новая структура кристаллического вещества, в данном случае получаем минерал ларнит.

Основываясь на полученных результатах, можно констатировать факт аннигиляции существующих минеральных примесей в процессе выброса угля и зарождения новых минеральных примесей, не существовавших ранее в данном угле. Достаточно примечательным является наличие порога устойчивости новообразованного вещества, которое могло бы иметь другую структуру, если бы термодинамические условия были иными.

Отсюда вытекает важный вывод, что в процессе выброса в угольном веществе могут формироваться структуры новых минеральных веществ, являющихся

ся, по сути, индикаторами условий, в которых этот процесс произошел. Вероятнее всего, существует ряд таких минералов индикаторов, которые ранее не исследовались. Поэтому данные об их наличии в угольном веществе, их фазовом состоянии в стационарных условиях и после выброса могут дать новый качественный толчок к пониманию процесса выброса угольного вещества, для использования этих данных в разработках новых методов прогнозирования выбросоопасности угольного вещества.

Таким образом, проведенные рентгенофазовые исследования показали, что минеральный состав образцов угольного вещества с мест выброса имеет четко выраженную аморфную структуру с включениями поликристаллической фазы. Это означает, что данный метод позволяет проследивать изменение кристаллической структуры минеральных включений и связать ее с механизмом развития выбросоопасных зон, что обеспечивает дополнительную информацию о выбросоопасности угольных пластов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Артемов А.В., Ковалев К.Е. Исследование надмолекулярной организации ископаемых углей методом рентгеноструктурного анализа // Химия твердого топлива. - 1972. - №4. - С. 13-20.
2. Жигулина Н.А. Исследование молекулярной структуры углей и разработка методики определения ее показателей для решения научных и практических задач: автореферат дис. канд. техн. наук: 05.15.11. - Днепропетровск, 1992. - 185 с.
3. Джейл Ф.Х. Полимерные монокристаллы. - Л.: Химия, 1968. - 551 с.
4. Nelson I.B. X-Ray studies of the ultra-fine Structure of Coal // Atomic Distribution Function of Vitrinite from Bituminous Coals. - Fuel, 1954. - V33. - №4. - P. 381.
5. Рентгенографическое исследование каменных углей Кузнецкого бассейна / А.Ф. Луковников, Ю.М. Королев, Г.С. Головин и др. // ХТТ. - 1996. - №5. - С. 3-13.
6. Королев Ю.М., Гладун Т.Г., Гагарин С.Г. Оценка мацерального состава углей методом рентгенографического фазового анализа // ХТТ. - 2003. - № 2. - С. 14-22.
7. Рентгенографическое исследование структуры гумусовых углей / Г.С. Головин, Ю.М. Королева, В.В. Лунин, В.В. Родэ // ХТТ. - 1999. - № 4. - С. 7-27.
8. Ошовский В.В., Саранчук В.И. Методика компьютеризованной обработки дифракционных кривых при рентгеноструктурных исследованиях углеродных материалов // Химия твердого топлива. - 1998. - № 6. - С. 63-67.
9. Галушко П.Я. Исследование физической природы породных выбросов // Выбросы породы и газа. - Киев: Наук. думка, 1971. - С.22-29.