

УДК 622.82:552.57

**Ф.А. Голынская**

## **СТЕПЕНЬ МЕТАМОРФИЗМА КАК ГЛАВНЫЙ ГЕНЕТИЧЕСКИЙ ПРИЗНАК САМОВОЗГОРАЮЩИХСЯ УГЛЕЙ**

Проведено исследование самовозгорания углей различной степени метаморфизма на примере известных бассейнов. Установлено, что наиболее склонны к самовозгоранию бурые угли, в меньшей степени — каменные, а антрациты практически не самовозгораются, что связано с изменением структуры макромолекулы угля, приводящего к снижению скорости сорбции кислорода и вследствие этого самонагревания и самовозгорания угля.

**Ключевые слова:** метаморфизм, самовозгорание углей, критическая температура, скорость сорбции кислорода, эндогенные пожары, угольные бассейны.

---

**С**тепень метаморфизма является главным генетическим признаком, однозначно дифференцирующим угли по отношению к самовозгоранию. При рассмотрении различных аспектов этой проблемы в первую очередь определяется степень преобразованности самовозгорающихся углей.

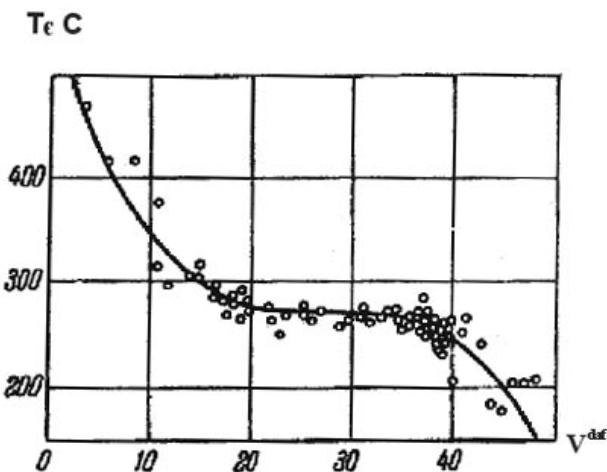
Впервые связь степени метаморфизма с самовозгоранием углей отмечали M. Denschtedt, T. Winmill и I.D. Davis, которые установили, что сорбционная способность углей по отношению к кислороду падает с увеличением содержания в углях углерода, уменьшением содержания кислорода, уменьшением выхода летучих веществ. В этом же направлении распределение температура воспламенения углей при их искусственном окислении [3].

Последующие исследования подтвердили тенденцию снижения химической активности углей и эндогенной пожаропасности пластов в ряду от торфов и бурых углей к антрацитам.

Так, статистические данные об эндогенных пожарах Донбасса за период с 1950 по 1974 гг. показали, что

наименьшую склонность к самовозгоранию имеют пласти углей с содержанием углерода 80–82,9 %. Три максимума склонности к самовозгоранию отмечаются у углей с содержанием углерода 75, 85 и 89 %. Наибольшее количество самовозгорающихся углей приходится на длиннопламенные разности, несколько меньше — на жирные, коксовые, отщепенно-спекающиеся, тощие и минимальное количество — в углях газовых и газово-жирных. Эта закономерность была установлена в результате анализа данных по самовозгоранию углей и показателей метаморфизма: показателя отражения витринита  $R^0$ , выхода летучих веществ  $V^{daf}$  и показателя карбонизации  $C_n$ . Аналогичные исследования были проведены также в Печорском бассейне, где установлено, что в большинстве своем угли этого бассейна по степени метаморфизма относятся к группе малоопасных по самовозгоранию (Интинское, Воркутское, Воргашорское, Усинское месторождения) [1].

Однако существуют и противоположные мнения. Э. Штак, М. Тайх-



**Рис. 1. Зависимость температуры возгорания от степени метаморфизма по Орнигу**

мюллер и др. (1978), ссылаясь на результаты, полученные Н. Schroeder (1940) при определении начальной температуры самовозгорания угля, утверждают, что «начальная температура снижается с увеличением мощности пласта угля и с уменьшением его гранулометрического состава независимо от степени метаморфизма» [4].

При исследовании самовозгорания углей донецких углей экспериментально было установлено, что критическая температура возгорания является в функции степени метаморфизма угля. С нарастанием степени метаморфизма повышается его критическая температура. Угли длиннопламенные и газовые имеют наиболее низкие критические температуры, а тощие и антрациты – наиболее высокие (рис. 1). Критическая температура возрастает сравнительно быстро от длиннопламенных углей до углей марки ПЖ. Затем от углей марки ПЖ до углей марки ПС нарастание наблюдается незначительно, а от ПС до А критическая температура вновь резко увеличивается.

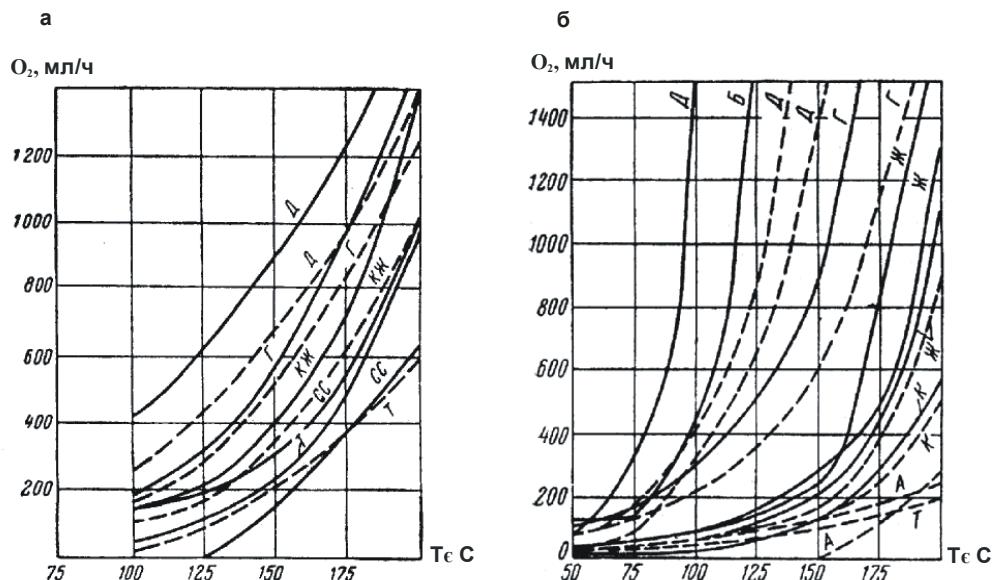
Вследствие этого критическая температура без изучения влияния степени метаморфизма не может служить показателем самовозгорания углей. Критическая температура высококарбонизованных углей, независимо от степени их склонности к самовозгоранию, более высокая, чем углей малометаморфизованных.

В пределах одной степени метаморфизма критическая температура может характеризовать степень склонности углей к самовозгоранию. При этом, чем

выше критическая температура, тем уголь менее склонен к самовозгоранию. Например, пласт Мазурка (уголь марки ПЖ) имеет критическую температуру 158 °С. На самом деле, этот пласт весьма подвержен самовозгоранию. Пласт Сорока (уголь этой же марки), имеющий критическую температуру 177 °С, является несамовозгорающимся. Такая ситуация распространяется на все пласти Донецкого бассейна.

Угли, родственные по степени метаморфизма и одинаковой степени склонности к самовозгоранию, имеют приблизительно одинаковые значения критических температур. Например, пласт Рубежный шахты № 5 «Тошковка» и пласт Александровский шахты № 10 «Чекист» имеют примерно одинаковую критическую температуру – 138 – 140 °С. Угли обоих пластов – газоносные.

Ввиду этого критическая температура при дифференцировании углей по степени метаморфизма может служить показателем самовозгорания углей.



**Рис. 2. Зависимость скорости сорбции кислорода от степени метаморфизма:** а – при окислении кузнецких углей различной степени метаморфизма; б – при окислении донецких углей различной степени метаморфизма

Другое утверждение – поглотительная способность угля к кислороду воздуха зависит от степени метаморфизма. С повышением степени метаморфизма угля уменьшается его поглотительная способность к кислороду воздуха. Наибольшей поглотительной способностью обладают бурые и длинно-пламенные угли, а наименьшей – тощие и антрациты. Вследствие этого при сопоставлении кривых, характеризующих поглощение кислорода углем оказывается, что угли менее метаморфизованные, независимо от степени их склонности к самовозгоранию, поглощают больше кислорода, чем угли более карбонизированные, хотя и более склонные к самовозгоранию. Например, уголь пласта Мазурка марки ПЖ, весьма склонный к самовозгоранию, поглощает меньше кислорода, чем несамовозгорающийся уголь пласта II Лисичанский марки Д. Таким образом, количество погло-

щенного кислорода не является показателем степени склонности его к самовозгоранию при сравнении разных углей по степени метаморфизма. Но в пределах одной степени метаморфизма поглотительная способность угля к кислороду характеризует степень склонности его к самовозгоранию.

В конце 70 – начале 80-х гг. были проведены аналогичные исследования влияния степени метаморфизма углей на степень их самовозгорания в Кузнецком, Карагандинском бассейнах, месторождениях Урала, Приморья и о. Сахалин (В.М. Маевская, Н.И. Линденau и др.), которые подтвердили выводы, сделанные при исследовании донецких углей. Экспериментально было показано, что под влиянием метаморфизма сорбционная способность угля по отношению к кислороду воздуха снижается. Чтобы определить склонность углей к само-

возгоранию по показателям, характеризующим сорбционную способность по отношению к кислороду воздуха, необходимо дифференцировать их по степени метаморфизма с целью исключения влияния последнего. Из графиков (рис. 2), характеризующих интенсивность поглощения кислорода и выделение углекислого газа при окислении кузнецких углей молекулярным кислородом, видно, что кривые располагаются последовательно по мере уменьшения степени метаморфизма независимо от склонности их к самовозгоранию.

При низких температурах, когда протекает стадия нагревания и выпаривания влаги, разница в количестве поглощенного кислорода и выделившегося  $\text{CO}_2$  у каменных углей различной степени метаморфизма небольшая. С переходом этой стадии в стадию интенсивного окисления (при температурах более 75—100 °C) при уменьшении степени метаморфизма резко увеличивается количество поглощенного кислорода и выделившегося  $\text{CO}_2$ . Угли метаморфизованные (длиннопламенные и газовые), несамовозгорающиеся при одной и той же температуре, поглощают  $\text{O}_2$  и выделяют  $\text{CO}_2$  в больших количествах по сравнению с более метаморфизованными углями (коксовыми и слабоспекающимися), склонными к самовозгоранию.

С уменьшением степени метаморфизма угля, независимо от его самовозгораемости, происходит смещение температурных интервалов, в которых протекает стадия интенсивного окисления в сторону более низких температур. Например, стадия интенсивного окисления протекает у бурых углей Артёмовского месторождения при температуре 90—120 °C, Тавричанского — 90—140 °C, о.Сахалин —

125—175 °C; у длиннопламенных черногорских углей при температуре 100—150 °C, донецких — 125—175 °C, а кузнецких и о.Сахалин — 150—200 °C, у газовых донецких — при температуре 125—175 °C, а у кузнецких и кизеловских — 150—200 °C.

На дифференциацию склонности углей к самовозгоранию по признаку «степень метаморфизма» указывают факты пожаров от самовозгорания углей. Опыты в буроугольных шахтах Чехии, Венгрии и Австрии показали, что в связи с большей скоростью реагирования между углем и кислородом воздуха теплота окисления бурого угля во много раз выше, чем в каменном угле. Этим объясняется тот факт, что, несмотря на гораздо меньшую глубину, температура в буроугольных подземных разработках часто бывает выше, чем в каменноугольных шахтах глубиной в 1000 м и больше. Согласно наблюдениям на буроугольных рудниках в Брухе, температуру бурого угля в 50° следует рассматривать как критическую [5].

Еще одним подтверждением повышенной активности бурых углей к самовозгоранию является тот факт, что только такие угли самовозгораются в карьерах. Более всего имеется данных о самовозгораниях углей в карьерах Челябинского бассейна. Самовозгорание целиков угля в обнаженных, но не нарушенных бортах карьера не наблюдалось. Возгорается только разрыхленный уголь и отвалы. Менее известны случаи самовозгорания углей в карьерах Канско-Ачинского буроугольного бассейна. Однако экспериментальные натурные и лабораторные исследования показали повышенную склонность этих углей к самовозгоранию [2].

Другим буроугольным бассейном, который отличается высоким уровнем пожароопасности как в карьерах, так и в подземных выработках, является Подмосковный. Несмотря на древний геологический возраст (нижний карбон), подмосковные угли относятся к типично бурым, сохраняясь на стадии слабометаморфизованных. Отражательная способность в иммерсионной жидкости колеблется от 0,31 до 0,37 %, что позволяет отнести их в классификации неокисленных иско-паемых углей по стадиям метамор-физма к буроугольной группе классов 01 и 02 (1Б, 2Б).

Буроугольные бассейны, отличаю-щиеся высокой пожароопасностью, в то же время характеризуются часто слабо моноклинальным (Канско-Ачинский, Челябинский) или пологим (Подмосковный, Южноуральский) за-леганием слоев, со слабой тектониче-ской нарушенностью или отсутствием таковой (Подмосковный). Угли в большинстве своем низкосернистые (исключение – Подмосковный бассейн  $S_t^d$  4,2 %). Следовательно, предрас-положенность бурых углей обуслов-лена, в первую очередь, их генетиче-скими свойствами: выходом летучих веществ, влажностью, то есть па-раметрами степени метаморфизма.

Что касается каменных углей, осо-бенно высоких стадий, то их самовоз-горание вызывается воздействи-ем некоторого сочетания различных фак-торов. Однако и параметры мета-морфизма имеют значение в этом проце-ссе.

Анализ фактов эндогенных пожа-ров от самовозгорания каменных уг-лей в разные годы на месторождениях Южного Уэльса в Великобритании, Индии (Ранигадж), Канады (Альберта), Киргизии (Кок-Янгак), Узбекистане

(Шаргуньское), Восточной Сибири (Норильское) и др., показывает, что они в значительной степени спрово-цированы условиями залегания уголь-ных пластов (крутым падением, текто-нической нарушенностью пласта и др.) и, во многих случаях, высокой сернистостью. Эти же условия приво-дят к самовозгоранию антрацитов.

Уменьшение самовозгораемости углей от бурых к антрацитам объяс-няется тем, что под действием мета-морфизма происходит изменение структуры макромолекулы угля. С по-вышением степени метаморфизма про-исходит уплотнение конденсиро-ванных ядер за счет сокращения али-фатических боковых цепей. Боковые цепи элементарных звеньев макромо-лекул обладают большей реакцион-ной способностью по сравнению с ядрами.

Таким образом, степень метамор-физма углей, как признак опреде-ленного физико-химического состоя-ния угольного вещества, однозначно указывает на отношение углей к са-мовозгоранию: бурые угли — опас-ные по самовозгоранию, каменные – ме-нее опасные, антрациты – практи-чески не самовозгораются. Устано-вленная закономерность уменьшения склонности углей к самовозгоранию от низкометаморфизованных к высо-кометаморфизованным нарушается в ряду каменных углей, где она возрас-тает от низшей к средней стадии и понижается от средней к высшей. Значимость степени метаморфизма углей как фактора самовозгорания существенно снижается при измене-нии физико-химических характери-стик углей в результате их раздроб-ления и разрыхления угля, повыше-ния влажности и содержания суль-фидов и др.

---

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Штах Э., Маковски М. — Т., Тайхмюллер М., Тейлор Т., Чандра Д., Тайхмюллер Р. Петрология углей. — М.: Мир, 1978. — С. 456—458.
2. Линденау Н.И., Маевская В.М., Крылов В.Ф. Происхождение, профилактика и тушение эндогенных пожаров в угольных шахтах. — М.: Недра, 1977 — С. 125.
3. Стадников Г.Л. Самовозгорающиеся угли и породы, их геохимическая характеристика и метод распознавания. — М.: Угнетехиздат, 1956. — С. 3-56.
4. Zerdin F., Dervaric E., Kemperle C. Underground fires detection and fire prevention system at Velenje coal mine // 3<sup>rd</sup> Int. Symp. mine Mech. and Autom., Golden, Colo, June 12-14, 1995: Proc. Vol. 2.Mines, 1995. — Р. 18-25, 18-37.
5. Ремизов К.М. Профилактика и тушение эндогенных пожаров в Челябинском бассейне // Сб. «Профилактика и тушение пожаров», Челябинск, 1969. — С. 59-102. **ГИАБ**

---

## КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Голынская Фарида Асхатовна — кандидат геолого-минералогических наук, доцент, Московский государственный горный университет, uid@msmu.ru



---

## О ТДЕЛЬНЫЕ СТАТЬИ ГОРНОГО ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО БЮЛЛЕТЕНЯ (ПРЕПРИНТ)

### МОДЕЛИРОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ СГУЩЕНИЯ

Затуловский Кирилл Аркадьевич — аспирант, [Kirill.Zatulovskiy@mail.ru](mailto:Kirill.Zatulovskiy@mail.ru),

Фирсов Александр Юрьевич — кандидат технических наук, доцент, [firs@spmi.ru](mailto:firs@spmi.ru)

Национальный минерально-сырьевой университет «Горный».

Разработаны CFD модель сгустителя, описывающая поведение флокулированной суспензии по всему объему аппарата и система управления сгустителем в программе GE Proficy Troubleshooter.

Ключевые слова: сгуститель, CFD моделирование, фактор стесненного осаждения, предел текучести при сжатии.

### MODELING AND MANAGEMENT OF CONDENSATION PROCESS

Zatulovskiy K.A., Firsov A.Yu.

The present paper is devoted to development of CFD thickener model which describes behavior of flocculated suspension in all volume of the unit. The present paper is devoted to development of thickener control system via GE Proficy Troubleshooter software. Neuro-fuzzy model which automatically generates in the GE Proficy Troubleshooter based on historian process data is used for the control.

Key words: thickener, CFD modelling, hindering settling factor, compressive yields stress, control system, GE Proficy Troubleshooter.