

критического значения параметра нагружения, обуславливающего исследуемое явление. Следовательно, применяемая расчетная схема может быть использована для изучения проблемы складкообразования на больших глубинах залегания слоев.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гузь А.Н. Основы трехмерной теории устойчивости деформируемых тел. - Киев: Вища школа, 1986. – 511 с.
2. Гузь А.Н., Чехов В.Н. Линеаризованная теория складкообразования в толще земной коры // Прикл. механика. – № 1. – 1975. – С. 3-17.
3. Гузь А.Н., Чехов В.Н. Исследование поверхностной неустойчивости слоистых тел в трехмерной постановке // Прикл. механика. – № 2. – 1990. – С. 3-24.
4. Гузь А.Н., Чехов В.Н. Задачи складкообразования в слоистой толще Земной коры//Прикл. механика.– 43,№2 –2007. С. 3–43
5. Ержанов Ж.С. и др. Теория складкообразования в земной коре. - М.: Наука, 1975. – 239 с.
6. Хаин В.Е. Общая геотектоника. М.: Недра, 1973.-479с
7. Чехов В.Н. Влияние упругих характеристик горных пород на процесс образования линейной складчатости в толще земной коры//Геоинформатика, №4.– 2005. С. 41–47.
8. Чехов В.Н. О постановке задач в трехмерной линеаризованной теории складкообразования / В кн. "Матер. Укр.-Польск. форуму гірників-2004 (Ялта, Крим, 13-19 вер. 2004р.).–Дн-ск, НГУ.–2004. С. 521–533.
9. Biot M.A. Mechanics of incremental deformations. – New York, Willey, 1965. – 506 p.
10. Радзівілл А.Я. Роль структур стиску і розтягу різних рангів у перерозподілі речовини і енергії тектоносфери та у формуванні покладів корисних копалин//Наукові праці Інституту фундаментальних досліджень.-вип.9. С.11-20.

**УДК 622.333:550.85**

А. Балалаев, В. Барановский, А. Бурчак,  
Л. Пимоненко, В. Слободяникова  
(ИГТМ НАН Украины),  
Д. Гуня (ПАО «Шахта им. А.Ф. Засядько»),  
Л. Кузнецова(ПО «Укруглегеология»),  
Е. Рудник (шахта «Трудовская»)

#### **НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ОТДЕЛЬНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ САМОВОЗГОРАЕМОСТИ УГЛЕЙ**

Проаналізовані геологічні чинники схильності вугілля до самозагорання. На прикладі детального розгляду деяких аспектів петрографічного складу і порушеності вугілля зроблений висновок про необхідність їх врахування у кожному конкретному випадку прогнозу.

#### **SOME ASPECTS OF CERTAIN GEOLOGICAL FACTORS OF COAL INCLINATION TO COMBUSTION**

Geological factors of coal inclination to combustion was analysed. Elaborate scrutiny of petrographic composition of coals and fractured structure of coal's bed make it possible to draw a conclusion about their's importance in every instance.

Ежегодно на шахтах Украины регистрируется несколько десятков эндогенных пожаров. По величине наносимого ущерба (опасность для жизни и материальные затраты на прогноз, предотвращение, ликвидацию последствий) это явление лидирует среди прочих аварий на угледобывающих предприятиях. Эндогенными

пожарами были выведены из эксплуатации самые производительные выемочные поля на шахтах: им. А. Ф. Засядько, им. В. М. Бажанова, им. Г. Г. Капустина, «Привольнянская». Ежегодные потери угольных ресурсов в результате самовозгорания в Китае достигают более 200 млн. тонн, что составляет 1/7 часть годовой добычи.

Несмотря на более чем столетнюю историю изучения этого явления, нельзя сказать, что проблема решена. Более того — нет единой общепризнанной теории самовозгорания углей. Из всех, предложенных исследователями, наибольшей популярностью пользуется теория уголь — кислород. Вкратце сущность ее сводится к следующему — уголь при соприкосновении с кислородом вначале его адсорбирует, но при этом происходит не простое уплотнение молекул кислорода на поверхности угля, а образование неустойчивых кислородных соединений типа перекисей. Образование перекисных соединений сопровождается выделением тепла. Процесс адсорбции переходит в хемосорбцию. Происходит распад неустойчивых кислородных соединений с образованием более сложных уголь — кислородных комплексов; процесс прогрессивно ускоряется при дальнейшем повышении температуры. Распад неустойчивых кислородных соединений сопровождается интенсивным выделением тепла и газообразных продуктов окисления  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ . Процесс становится автогенным, что приводит к воспламенению угля [1]. Следует отметить, что не существует экспериментального подтверждения возгорания угля при насыщении его кислородом. Т.е. одной этой причины (наличия кислорода) недостаточно.

Многолетние наблюдения за условиями возникновения эндогенных пожаров позволили выделить целый ряд причин, приводящих к этому явлению. Условно их можно разделить на природные и технологические. Среди природных причин выделяют качество самого угля (в частности, его химическую активность — способность вступать в реакцию с кислородом) и геологические факторы, приведшие к формированию конкретного шахтопласта. Последние описаны многочисленными авторами, иногда высказывающими противоположные взгляды на роль отдельных геологических причин, приводящих к самовозгоранию углей [1–9]. К основным геологическим факторам отнесены: строение и мощность угольного пласта, глубина залегания, углы падения пластов, нарушенность, степень метаморфизма угля, его петрографический состав и восстановленность, зольность, влажность, сернистость, газоносность.

В настоящее время склонности угля к самовозгоранию определяют по методике [6], разработанной НИИГД, в которой наряду с константой скорости окисления учитывают еще три фактора, а именно: дробимость, критическую температуру самовозгорания и теплоту поглощения кислорода. В то же время сами сотрудники НИИГД «Респиратор» [5, 10] отмечают, что методика не идеальна, поскольку не учитывает таких факторов как наличие зон геологических нарушений (вблизи которых отмечается до 30 % случаев самовозгорания), влажности, газоносности и др.

В связи с, отмечаемой выше, важностью геологических факторов, влияющих на возникновение эндогенных пожаров, рассмотрим более подробно некоторые из них.

Объект исследования – угольные пласты  $l_4$  и  $m_3$  шахт «Трудовская» (угли марки Д) и им. А. Ф. Засядько (угли марки Ж). Обе шахты расположены на пологом ( $10 - 12^\circ$ ) южном крыле Кальмиус-Торецкой котловины в пределах Донецко-Макеевского района Донбасса. На шахте «Трудовская» савозгораемым является пласт  $l_4$ ; на шахте им. А.Ф. Засядько -  $m_3$ .

При исследовании применялись следующие методы: геологические (анализ литолого-фациальных и тектонических условий; петрографические (видеооптический комплекс: МБИ - 11, НВ 200, ПК); физические (на молекулярном и надмолекулярном уровнях методом электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) и инфракрасной (ИК) спектроскопии).

**Анализ геологических условий.** В региональном плане поля шахт находятся в различных тектонических условиях (рис. 1).

Поле шахты им. А.Ф. Засядько расположено в пределах тектонического блока<sup>1</sup>, ограниченного крупными структурами различных типов: на юге - субширотный Мушкетовский надвиг, на западе и востоке - соответственно Ветковская и Чайкинская флексуры, на севере – донная часть Кальмиус-Торецкой котловины. На шахте им. А.Ф. Засядько простирание пластов близко к субширотному ( $85 - 100^\circ$ ), падение  $12^\circ$ . Общее, близкое к моноклинальному, залегание пород по простиранию и падению толщ осложнено пологими перегибами, локальными складками и разрывными дислокациями.

Мелкие локальные складки продольного изгиба имеют субширотное простирание субпараллельное Мушкетовскому надвику, что свидетельствует об их генетической связи. Угольные пласты неравномерно нарушены малоамплитудными разрывными дислокациями. На пласте  $l_4$  отмечены надвиги и сбросы, на пласте  $m_3$  - только надвиги. На пласте  $m_3$  преобладают надвиги северо-восточного и северо-западного простираний; на пласте  $l_4$  – сбросы субширотного простирания. В сложном многофазовом формировании структуры поля превалирующую роль играли сдвиговые усилия.

**Шахта «Трудовская»** расположена на юго-востоке Волчанской синклинали. Шахтное поле представляет собой чашеобразную структуру, падающую на север под углом  $12^\circ$ , осложненную вторичной синклинальной складкой продольного изгиба. Все шахтное поле разбито системами малоамплитудных разрывных нарушений. Встречаются как единичные, так и образующие параллельно-ориентированные системы. Малоамплитудные нарушения представлены надвигами и сбросами; отмечаются единичные флексурные складки и размывы. Исследуемые пласты существенно отличаются по типу и интенсивности нарушения: на пласте  $l_4$  интенсивность нарушения выше.

---

<sup>1</sup> Под тектоническим блоком понимается структура, ограниченная крупноамплитудными нарушениями

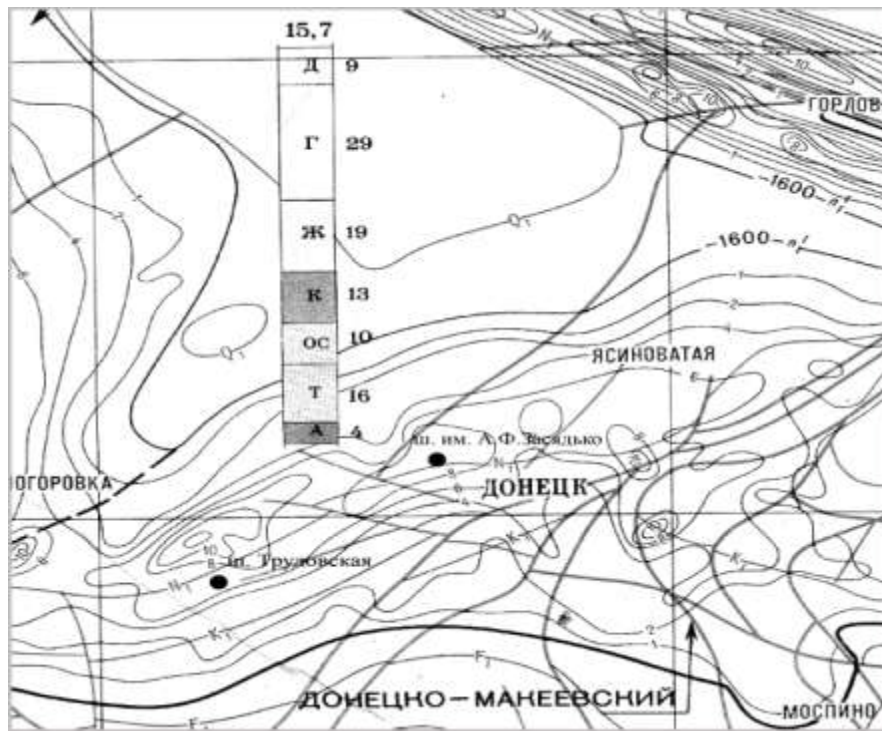


Рис. 1 — Выкопировка из геолого-структурной карты доверхнепермских отложений Донецкого угольного бассейна М 1: 200 000 (Отв. исп. И.А. Очеретенко, 1980)

По типу нарушенности поле шахты можно условно разделить на три зоны:

- восточную – для нее характерны серии и отдельные сбросы; нарушения крутопадающие, сместители нарушений направлены к северу;
- центральную – наиболее изогнутую часть нарушенную пологими диагональными надвигами (азимут падения 290 – 310 °), простирание которых совпадает с простиранием оси Волчанской синклинали;
- западную – наименее нарушенную пологими надвигами субмеридионального простирания.

В зонах сместителей мощности пласта не меняются, что свидетельствует о постседиментационном образовании нарушений. Приуроченность надвигов к осевой части вторичной синклинали, субпаралельное протирание сместителей оси складки и субперпендикулярное простирание к ним сместителей сбросов позволяет предположить одновременное их образование под действием сжимающих субгоризонтальных сил.

Участки самовозгорания приурочены к центральной, наиболее нарушенной зоне.

Очевидно, что тектоника шахтных полей в региональном плане существенно отличается. Малоамплитудная складчатость угольных пластов  $l_4$  и  $m_3$  в пределах каждой шахты подобна, между шахтами отличается. Интенсивность и тип малоамплитудных нарушений на каждом пласте индивидуальны. В целом какие либо специфические тектонические условия самовозгораемым пластам не

присущи, но точки самовозгорания приурочены к участкам, нарушенным малоамплитудными надвигами.

Исходя из описания пластов и условий их залегания, био- и геохимические, физико-химические процессы, характер преобразований угольного вещества и, как следствие, состав образующихся углеводородов и других компонентов газа в пластах имеют отличия.

Так при наличии пористых пород (песчаников и алевролитов) в кровле и почве пластов (в рассматриваемом случае несамовозгораемые пласты) с увеличением глубины погружения осадков газодыняные потоки относительно свободно перемещаются в их толще, поставляя кислород, азот, бактерии, что приводит к преимущественному развитию окислительных процессов. При этом основным газообразующим компонентом является углекислый газ.

Для самовозгораемых пластов  $l_4$  (шх. «Трудовская») и  $m_3$  (шх. им. А.Ф. Засядько), в кровле которых залегают аргиллиты и известняк, погружение происходило более быстро. Накапливающиеся карбонаты и глинистые отложения с увеличением глубины после отжатия стали менее проницаемыми, поступление кислорода из воздуха атмосферы уменьшилось, что способствовало созданию восстановительной среды, при которой в составе образующегося газа доминировал метан. Восстановленные угли отличаются по участию кислорода и серы в мостиковых связях между фрагментами и в составе функциональных групп; менее прочными водородными связями. Они активно реагируют с кислородом (количества парамагнитных центров (ПМЦ) в них при окислении более значительно, чем у маловосстановленных).

В табл. 1 приведены усредненные горно-геологические характеристики, которые, по данным работ [1-9], могут привести к самовозгоранию углей.

Из анализа таблицы и приведенных геологических данных следует, что углы падения пластов, глубина отработки, строение и мощность угольных пластов исследуемых шахт существенно не влияют на склонность углей к самовозгоранию. Общими для самовозгораемых пластов являются наличие размывов и преобладание аргиллитов и известняков в кровле.

Таким образом, условия накопления пластов, склонных к самовозгоранию, на исследуемых шахтах подобны и отличаются от пластов несклонных к самовозгоранию.

Сернистость влияет на самовозгорание углей в том случае, если она связана с содержанием сульфидов железа (пирита и марказита), количество которых бывает в углях достаточно высоко. Еще в начале XVIII века Юстусом Либихом была обнаружена способность сульфидов железа активно взаимодействовать с кислородом с выделением тепла и тем самым способствовать самонагреванию и самовозгоранию углей. Однако последующие исследования показали, что, во-первых, соотношение скорости накопления тепла при окислении пирита и скорости оттока тепла таково, что не позволяет достичь самовоспламенения угля.

Таблица 1 - Горно-геологическая характеристика угольных пластов

Показатели	Шахта Трудовская		Шахта им. А.Ф. Засядько	
	Пласт пз	Пласт I <sub>4</sub>	Пласт пз	Пласт I <sub>4</sub>
Пласты	Д	Д	Ж, К	Ж, К
Марка угля				
Мощность пласта	0,90 – 1,84	1,10 – 1, 25	1,24 - 2,32	0,55 - 1,3
Строение пласта	Сложное (преобладает двухплаечное)	Простое (локально прослойки углистого аргиллита)	Сложное	Сложное
Зольность	16,4	14,6	3,3 – 17,2 (5,6)	1,4 – 23,4 (8,1)
Сернистость	3,12	0,9 – 1,4	2,5	1,4
Приток воды, м <sup>3</sup> /час	23,7	300	77	28
Размывы		Характерны размывы	Характерны размывы	Характерны утонения
	Не склонен к самовозгоранию	Склонен к самовозгоранию	Склонен к самовозгоранию	Не склонен к самовозгоранию
Границы метановой зоны, м	-630÷-700			+75 - -225
Почва (литотипы и мощности)	Песчаник (до 1 м) залегающий на алевролитах (2,4 – 13,4 м)	Маломощная пачка алевролитов (0,6 м), ниже – песчаник (5 м)	Алевролиты склонны к пучению, (1,45 – 14,0), песчаник.	Алевролит (до 11,8 м) ниже – песчаник
Кровля (литотипы и мощности)	Аргиллиты (2,8 – 7,3 м), выше алевролит (до 9 м), в западной части поля песчаник (3,7 м)	Переслаивание маломощных слоев аргиллитов и углистых сланцев; среди которых на расстоянии 1 – 2 м залегают известняк L <sub>5</sub>	Аргиллиты (8 - 16), алевролиты (2,5 – 6,0) – легкообрушаемые.	Неустойчивый маломощный (до 3,0 м) аргиллит; выше – алевролит (1,0 – 15,0 м), выше песчаник (1,0 – 7,5 м) и реже алевролит

Во-вторых, исследования в различных бассейнах показали, что самовозгорание может происходить и в низко-сернистых ( $S_t^d$  менее 1,5 %) углях, например, в Кузнецком ( $S_t^d$  0,4 - 0,6 %), Канско-Ачинском ( $S_t^d$  0,45 %) бассейнах.

В настоящее время последователи «пиритной» теории отводят сульфидам железа роль химического инициатора реакций окисления и самовозгорания, которая состоит в химическом воздействии на уголь продуктов окисления пирита, например, свободной серной кислоты, в результате чего образуются «активные сульфопроизводные» угля, обладающие повышенной активностью по сравнению с исходным углем.

**Физические методы.** По данным ИКС, несмотря на резко отличающуюся способность к самовозгоранию, керогены углей из пластов  $l_4$  и  $m_3$  шх. им. А.Ф. Засядько обладают близкой молекулярной структурой, которая проявляется в повторяющейся форме спектральной кривой (рис. 2).

Этот экспериментальный факт, с одной стороны, отражает близость исходного растительного материала и геологических условий формирования органического вещества углей. С другой стороны, наблюдающимися незначительными спектральными отличиями, нельзя объяснить такую принципиальную разницу в свойствах. Вероятной причиной возникновения процесса самовозгорания углей могут быть многочисленные минеральные включения в угле пласта  $m_3$ . Наличие минеральных компонентов проявляется в ИК спектре усредненной пробы угля пласта  $m_3$  (см. рис. 2).

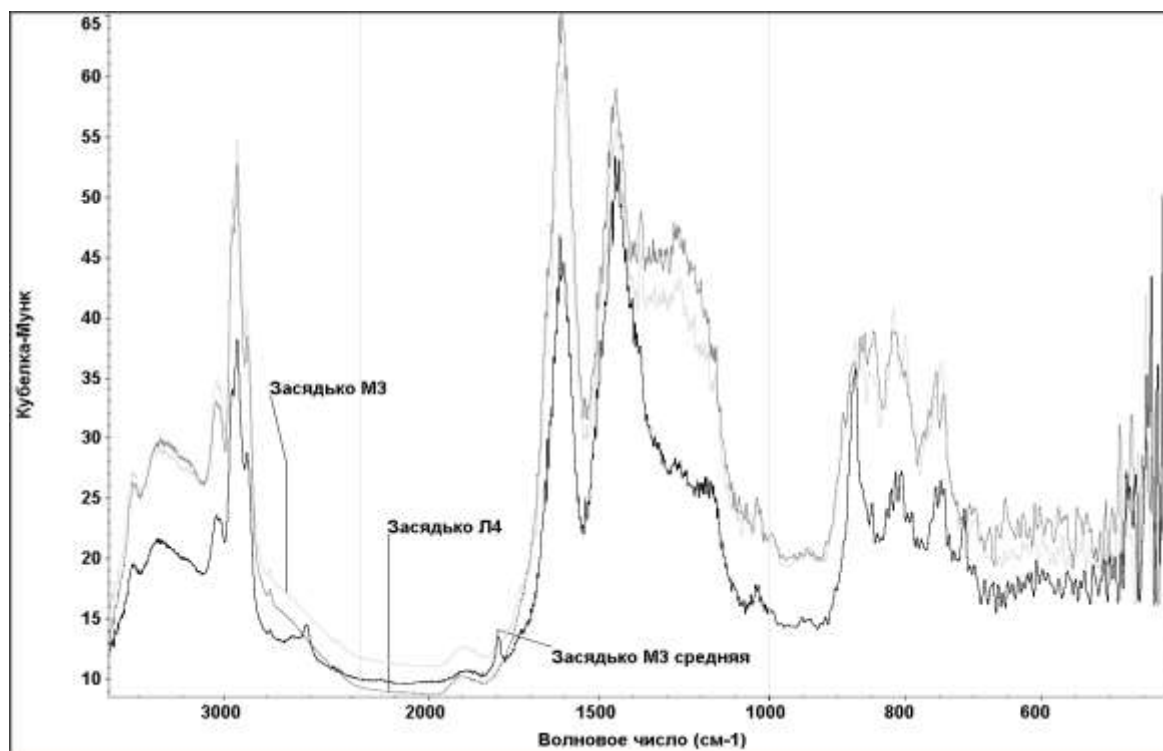


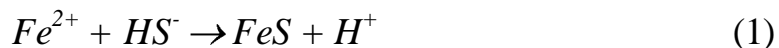
Рис. 2 — ИК-Фурье спектры диффузного отражения образцов углей шх. им. А.Ф. Засядько пластов  $m_3$  (светлый),  $l_4$  (серый) и  $m_3$  с учетом минеральных компонентов (темный)

Здесь появляются дополнительные пики принадлежащие карбонатам различных катионов:  $873\text{ см}^{-1}$ ,  $1400 - 1420\text{ см}^{-1}$  (плечо),  $1796\text{ см}^{-1}$  и  $2514\text{ см}^{-1}$  [11]. Наличие этих солей подтверждается бурным вскипанием минеральных включений 10 % HCl. Кроме этого идентифицированы полосы на длинноволновом краю диапазона  $399\text{ см}^{-1}$  и  $421\text{ см}^{-1}$  характерные сульфидам железа  $\text{FeS}_2$  [11]. Также наблюдается ряд пиков  $438 - 475\text{ см}^{-1}$  лежащих в диапазоне валентных колебаний S–S связей молекулярной серы [12].

По результатам спектральных исследований можно предположить вероятные последовательности экзотермических химических реакций приводящих к самовозгоранию угля пласта  $m_3$ .

Известно, что сульфиды в природе особенно активно образуются в прибрежных водах богатых органическим веществом благодаря микробиологически опосредованных реакций [13].

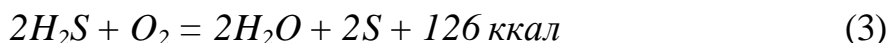
Образующийся из сульфат иона сульфид водорода обладает высокой реакционной способностью и приводит к осаждению растворимого Fe(II) и последующему накоплению в осадках моносulfида железа по реакции (1):



С течением времени FeS превращается в пирит ( $\text{FeS}_2$ ). Однако механизм этого процесса до конца не изучен [13]. Для разбираемой проблемы имеет значение доказанный факт того, что на разных этапах круговорота серы в природе в отложениях водоемов могут присутствовать как моно- так и дисульфиды. Эти же вещества в разных пропорциях может вмещать угольный пласт. При доступе сульфидным конкрециям углекислого газа и паров воды, чему способствует вскрытие пласта, происходит образование карбонатов и сероводорода (2) [14].

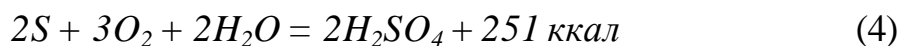


Доказанное присутствие карбонатов подтверждает вероятное протекание этого процесса. Выделяющийся сероводород легко окисляется кислородом системы вентиляции выработки с выделением серы (3), а возможное присутствие серобактерий ускоряет экзотермическую реакцию.

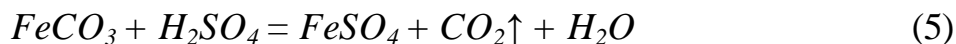


Хотя свободная сера в большом количестве в исследуемых образцах не обнаружена, молекулярный анализ показал возможное наличие ее следов, все же это не исключает протекание описанной реакции. Больше всего тепла выделяется при реакции серы с кислородом воздуха и водой (4) [14], которой, в совокупности с вышеописанными реакциями, должно быть достаточно для возгорания керогена угля.

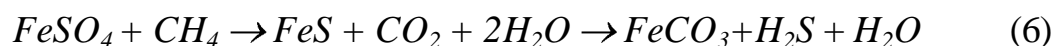




Образовавшаяся серная кислота тут же вступает во взаимодействие с карбонатами (5) с образованием сульфатов углекислого газа и воды, которые создают условия для протекания реакции (2).



Сульфаты под действием повышенной температуры и давления могут реагировать с органическими веществами (метан и др.) (6) [14] с образованием всех исходных компонентов для реакции (2) замыкая геохимический цикл.



Таким образом, большинство рассмотренных химических реакций, с участием сернистых соединений, протекающие в природе естественным путем, образуют своеобразный цикл с прогрессивным выделением теплоты. За миллионы лет углеобразования сульфидные, сульфатные и карбонатные включения находятся в термодинамически устойчивом равновесии с другими компонентами угля. При разработке угольного пласта или тектонических подвижках, сложившееся равновесие нарушается. В результате деформаций и процесса растрескивания увеличивается площадь угольной поверхности для доступа атмосферных газов к минеральным компонентам, способствуя осуществлению описанных реакций.

В тоже время последовательность химических реакций (2–6) на данном этапе следует рассматривать только в качестве гипотетической. Для экспериментального подтверждения необходимо проведение дополнительной серии опытов, в том числе в условиях шахтной выработки. Выделение сероводорода как индикатора протекания реакций (2, 6), повышенную влажность, концентрацию углекислоты и места отложения молекулярной серы, достоверно зафиксировать можно только на месте добычи угля.

Угли из пластов **шх. «Трудовская»** имеют спектры молекулярных колебаний (рис. 3) со значительными отличиями.

В спектре пласта  $m_3$  выделяется тройной пик ( $\nu = 3622\text{--}3695 \text{ см}^{-1}$ ) свободных валентных колебаний ОН групп, который не наблюдается в пласте  $l_4$ .

Кроме этого, проявляются несколько характерных высокоинтенсивных валентных полос ( $\nu_{as} = 917\text{--}1113 \text{ см}^{-1}$ ) и очень сильная деформационная полоса ( $\delta = 496 \text{ см}^{-1}$ ), предположительно относящихся к различным Si-O колебаниям кремнекислородных тетраэдров [11].  $900\text{--}700 \text{ см}^{-1}$  – существенное увеличение интенсивности спектра в угольном пласте  $m_3$  за счет ароматических групп с различными заместителями, возможно замещение фенольных и углеводородных структур и в конце спектра присутствие комплексных соединений и минералов.

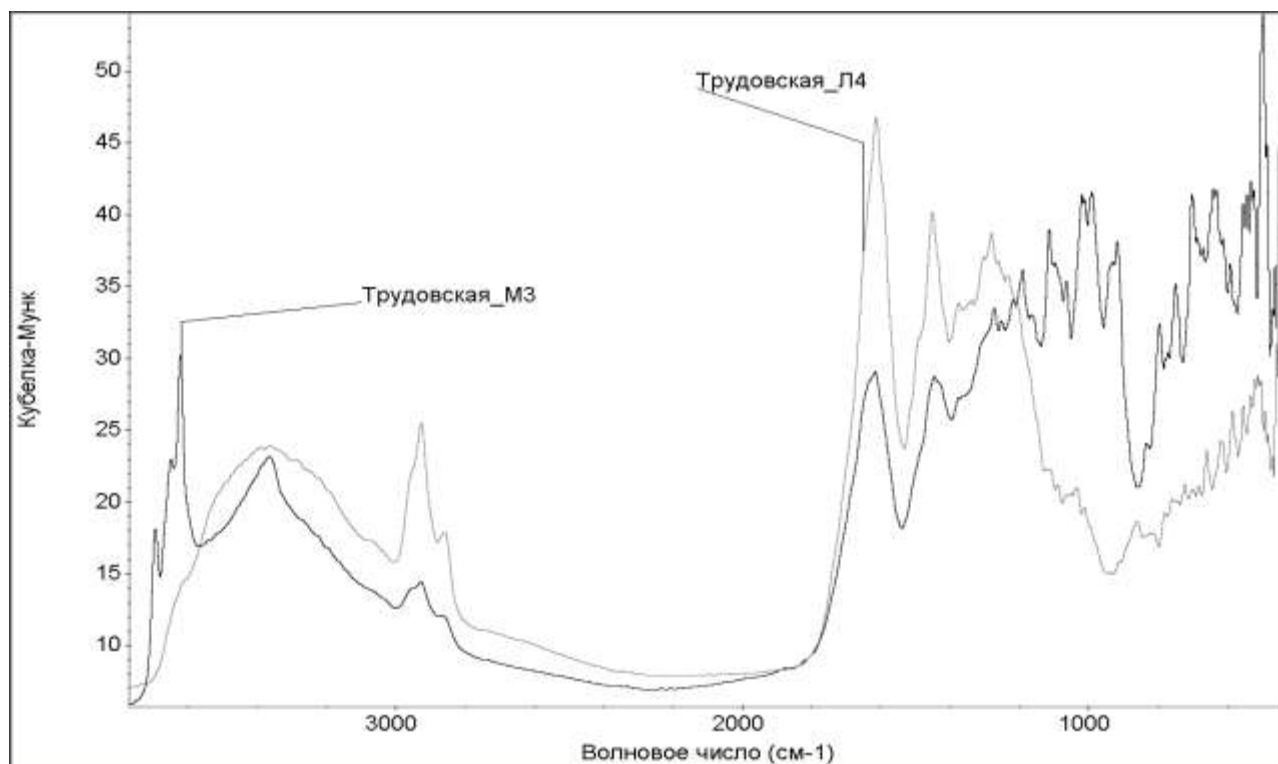


Рис. 3 – ИК-Фурье спектры диффузного отражения образцов углей шах. «Трудовская» пластов  $m_3$  (черный) и  $l_4$  (серый) в единицах функции Кубелка-Мунка

Обнаруживаемые пики в спектральном диапазоне ( $\nu = 523\text{--}795\text{ см}^{-1}$ ) можно идентифицировать как комбинации валентных колебаний Si-O-Si, Si-O-M и M-O связей алюмосиликатов в зависимости от количества замещения кремния металлами и вида катионов. Таким образом, в инфракрасном (ИК) спектре данного образца угля  $m_3$  (возможно за счет интенсивного перемещения газодонных потоков в процессе погружения) преобладают минеральные компоненты, колебания функциональных групп органических соединений имеют соподчиненное значение.

В спектре угольного вещества из пласта  $l_4$  органическая материя проявляется сильнее минеральной. Здесь выделяются полосы, характерные для керогенов углей валентные колебания метильных и метиленовых ( $\nu = 2858\text{--}2927\text{ см}^{-1}$ ) алифатических углеводородов.

В частотном диапазоне ( $1500\text{--}1800\text{ см}^{-1}$ ) присутствуют колебания кислородсодержащих карбоксильных, карбонильных групп, карбоксилат-ионов ( $\text{COOH}$ ,  $\text{C=O}$ ,  $\text{COO}^-$ ) и двойных углеродных связей ( $\text{C=C}$ ). Различные сочетания валентных колебаний мостиковых связей C-C, C-O-C, C-O-H, O-Alk находятся между  $1100\text{ см}^{-1}$  и  $1400\text{ см}^{-1}$ , сюда же накладываются деформационные колебания СН групп [14].

$1600\text{ см}^{-1}$  – очень интенсивная полоса поглощения в угольном пласте  $l_4$  может быть удовлетворительно объяснена описанными выше условиями его формирования. Интенсивность и ширина полосы характеризует количество и

размеры конденсированных ароматических структур. Чем интенсивнее и уже полоса, тем больше упорядоченных систем по отношению к неупорядоченным. Происходит поглощение хиноидных групп, связанных внутрикомплексной водородной связью, что подтверждает более восстановленный характер пласта [15]. В тоже время, наряду с соединениями органической природы, наблюдаются остаточные признаки прототипия карбонатов в кровле угольного пласта. Слабые характеристичные пики симметричных и асимметричных (в виде плеча) валентных С-О колебаний ( $\nu_s = 1036 \text{ см}^{-1}$ ,  $\nu_s = 1492 \text{ см}^{-1}$ ), веерные деформационные колебания ( $\pi = 860 \text{ см}^{-1}$ ) и сильная полоса валентных колебаний ионной связи М-О карбонатов  $[\text{M}^{2+}][\text{CO}_3]^{2-}$  в различной координации [12].  $1450 \text{ см}^{-1}$  – отражает поглощение как ОН-групп так и карбонат и карбоксилат ионов, а также деформационные колебания алифатических групп  $\text{CH}_2$  и  $\text{CH}_3$ . (Это относится и к полосе поглощения  $1375 \text{ см}^{-1}$ ). Более интенсивное поглощение в угольном пласте  $l_4$  можно объяснить тем, что преобразования происходили в замкнутом пространстве (глины и известняк) и повышенным содержанием липтинита, в структуре которого содержатся более длинные алифатические цепи. Процесс углефикации идет быстрее за счет карбоксила.  $1240 - 950 \text{ см}^{-1}$  – интенсивное поглощение полос в пласте  $m_3$  может быть связано с окислением, когда идет увеличение содержания кислорода в неучтенной форме, образование мостикового кислорода.

Показанные радикальные отличия в ИК спектрах двух угольных пластов относятся, в основном, к минеральному составу углей и наиболее вероятно являются следствием различия в исходных геологических условиях осадконакопления при формировании угольного пласта, что согласуется с литолого-фациальными данными приведенными выше (см. табл. 1).

Таким образом, на основании молекулярного анализа можно сделать предварительный вывод, что различная способность к самовозгоранию вещества всех рассматриваемых угольных пластов определяется сочетанием последовательности неравнозначных факторов разнообразной природы. К первичным факторам можно причислить влияние минеральных компонентов угля, образованных в процессе формирования угольного месторождения, либо привнесенных с осадочным материалом кровли в виде механической примеси. Особенности молекулярного строения органических соединений углей, вероятно, относятся к вторичным причинам, способствующим поддержанию процесса горения.

Исследования особенностей формирования структуры и свойств органического вещества угольных пластов  $m_3$  и  $l_4$  **на атомно-молекулярном уровне методом ЭПР** проводились на концентратах витринита и инертинита шахтных проб, отобранных геологическими службами предприятий.

Результаты оценки абсолютных значений показателей парамагнетизма мацералов углей и структурных характеристик вещества приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Показатели парамагнетизма пластов  $m_3$  и  $l_4$  на шахтах им. А.Ф. Засядько и «Трудовская»

Шахта, пласт, проба Показатели	Шахта им. А.Ф. Засядько		Шахта «Трудовская»	
	$m_3$ (№ 908)	$l_4$ (№ 927)	$m_3$ (№ 925)	$l_4$ (№ 926)
Концентрат витринита (класс крупности 0,10-0,16 мм)				
Концентрация ПМЦ, $N^a \cdot 10^{19} \Gamma^{-1}$	2,9	3,0	2,9	2,1
Ширина сигнала, $\Delta H$ , э	5,03	6,95	4,87	7,56
Предельная сорбционная способность, $\alpha$ , мл/г	18,6	15,6	12,5	6,85
Показатель сопряженности, $f_{sc}$ , усл. ед.	1,89	0,74	1,15	0,34
Концентрат инертинита (класс крупности <0,05 мм)				
Концентрация ПМЦ, $N^a \cdot 10^{19} \Gamma^{-1}$	3,1	2,0	2,2	1,7
Ширина сигнала, $\Delta H$ , э	3,54	3,40	3,78	6,95
Предельная сорбционная способность, $\alpha$ , мл/г	23,8	11,36	13,7	6,4
Показатель сопряженности, $f_{sc}$ , усл. ед.	3,67	0,78	2,44	0,42

Концентрация парамагнитных центров (ПМЦ) и ширина сигнала ЭПР ( $\Delta H$ ) в концентрате витринита пробы № 908 отобранной по пласту  $m_3$  шах. им. А.Ф. Засядько соответствуют значениям характерным для углей марки Ж. Определенное несоответствие значений показателей  $N^a$  и  $\Delta H$  наблюдается для концентрата витринита пробы № 927 (пл.  $l_4$ , шах. им. А.Ф. Засядько). При концентрации ПМЦ в этой пробе, характерной для марки Ж, значение показателя  $\Delta H$  соответствует марке Д. То есть структурные преобразования в веществе пласта  $l_4$ , шах. им. А.Ф. Засядько отстают от степени химических превращений.

Значения этих показателей по пробам, отобраным по пласту  $l_4$  на шах. «Трудовская» (проба № 926), в общем характерны для углей марки Д. Низкое значение концентрации ПМЦ при существенно завышенной ширине сигнала свидетельствует о слабом развитии ароматической составляющей и преобладании в молекулярной структуре вещества алифатических соединений. Следовательно, парамагнетизм пласта  $l_4$  имеет свободнорадикальную природу, это дает основание предполагать, что структурные преобразования в угле происходили под химическим влиянием минеральной составляющей на

алифатические соединения угольного вещества, без развития процессов структуризации (связанных с температурой и давлением).

Для пробы № 925 (пл.  $m_3$  шах. «Трудовская») зафиксировано заниженное значение показателя  $\Delta H$ , что может свидетельствовать о более высокой степени преобразованности вещества (чем марка Д) и может быть следствием повышенных механических нагрузок при относительно низких температурах.

Показатель сопряженности позволяет оценить вклад систем сопряжения (двойных  $C = C$  связей) в интенсивность поглощения СВЧ энергии исследуемым образцом. В пробе № 908 ( $m_3$  шах. им. А.Ф. Засядько) значения показателя ( $f_{sc}$ ) максимальные для обоих мацералов. Минимальные значения показателя сопряженности зафиксированы в образцах пласта  $l_4$  обеих шахт.

Процессы преобразования ископаемой органики многофакторные. На структуру и свойства каменных углей существенное влияние оказывают степень восстановленности и окисленность угольного вещества. Вакуумирование исследуемых образцов приводит к очистке поверхности углефицированной органики от физически сорбированного молекулярного кислорода. В отличие от хемосорбции процесс физической сорбции/десорбции полностью обратим. Десорбирование молекулярного кислорода с поверхности вещества приводит к увеличению обменного взаимодействия между ПМЦ угля и, соответственно, к сужению линии поглощения СВЧ энергии при практически постоянной интенсивности сигнала ЭПР [16]. В результате проведенных экспериментальных исследований установлено, что относительное изменение ширины сигнала при вакуумировании образцов угля пласта  $m_3$  для концентратов витринита и инертинита шахты им. А.Ф. Засядько (проба № 908) соответственно составило 0,58 и 0,72; для шахты «Трудовская» (проба № 925) - 0,82 и 0,84. При этом ширина сигнала систем сопряжения (для всех проб) практически одинаковая. Более интенсивное изменение показателя  $\Delta H$  свидетельствует о большем количестве физически сорбированного кислорода на поверхности вещества. Наличие физически сорбированного кислорода позволяет предположить, что уголь пробы № 908 более восстановлен и менее окислен, то есть в нем меньше всего кислорода входящего в молекулярную структуру вещества, чем в пробе № 925. Именно более интенсивной физической сорбцией молекулярного кислорода можно объяснить повышенную возгораемость угля пласта  $m_3$  на шахте им. А.Ф. Засядько.

Результаты исследования представленных проб методом ЭПР подтверждают вывод, что различия в структуре и свойствах углей, отобранных из разных пластов, но на одной шахте, объясняются особенностями условий осадконакопления.

**Петрографические исследования.** У исследователей различных угольных бассейнов мнения по влиянию петрографического состава на склонность углей к самовозгоранию отличаются. При исследовании углей Кузнецкого и Карагандинского бассейнов установлено, что угли, содержащие больше компонентов группы фюзинита, обладают повышенной склонностью к самовозгоранию. Фюзинит играет роль катализатора процесса окисления,

т. е. ускоряет процесс окисления путем доставки внутрь угля по порам к витриниту кислорода, с одной стороны, и помогает развитию трещин окисления (образованию свежей поверхности) в витрините — с другой [3].

В Донецком бассейне установлено, что причиной повышенной склонности к самовозгоранию углей с высоким содержанием витринита является наличие в нем активного водорода и его повышенная микропористость, увеличивающая проницаемость по отношению к окислителю. Содержащийся в углях фюзинит имеет слабую связь с самовозгоранием углей, а влияние липтинита еще меньше, чем фюзинита, поскольку липтиниты индифферентны как к окислителям, так и к микробиологическому воздействию [1].

**Шахта им. А.Ф.Засядько.** Угли обоих пластов имеют слоистую структуру (рис. 4, 5). Мощность слоев в угле пласта  $m_3$  составляет 1–5 мм, а в угле пласта  $l_4$  - 5-20 мм, что говорит о более частой смене геодинамической обстановки при накоплении исходного растительного материала пласта  $m_3$ , при этом поверхность бассейна накопления подолгу оставалась в аэробных условиях, что способствовало образованию микрокомпонентов группы инертинита (фюзинита), которые легко диагностируются невооруженным глазом на межслоевых поверхностях (рис. 6)

Для углей Кузбасса и Карагандинского бассейна, где содержание фюзинита достигает 30 % и более, как отмечалось выше, установлена практически линейная зависимость между содержанием фюзинита и склонностью углей к самовозгоранию [3]. Это объясняется большой удельной поверхностью микрокомпонентов этой группы, за счет сохранности растительных тканей (рис. 7) и развития микротрещиноватости вокруг фюзинита при окислении углей



Рис. 4 – Слоистая структура пласта  $l_4$



Рис. 5 – Слоистая структура пласта  $m_3$





Рис. 6 – Межслоевая поверхность угля пласта  $m_3$  покрыта фюзеном

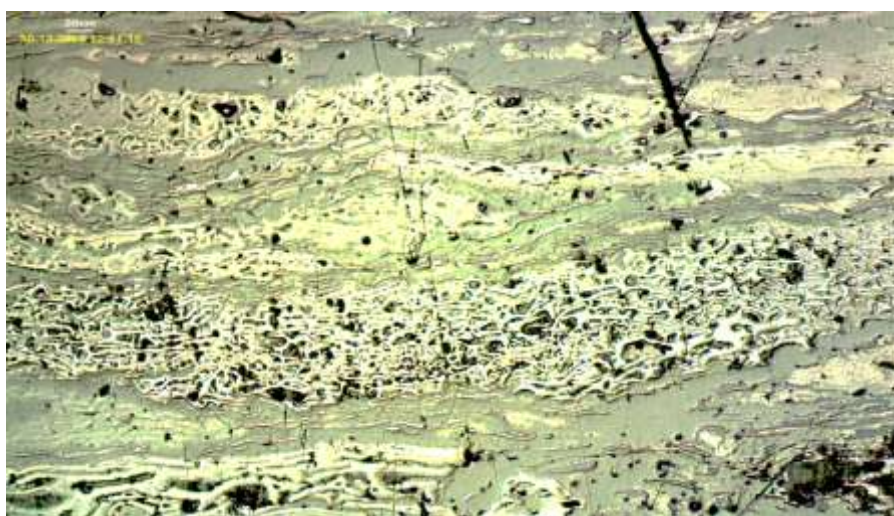


Рис. 7 – Микрокомпоненты группы фюзинита с частично сохранившейся структурой растительных тканей

Возможно, это явление имеет место в углях заброшенных целиков, где они продолжительное время подвержены воздействию воды и воздуха. В углях свежих горных выработок нами подобные трещины не отмечены, более того – фюзинит препятствует развитию эндогенных трещин усыхания в витрините (рис. 8), что согласуется с данными Э. Штаха, М.-Т. Маковски, Г. Тейлор [17].

В данном случае речь идет о микрокомпонентах фюзинита располагающихся внутри блестящих (клареновых) слоек, изображенных на рис. 4, 5. В площадном же распространении эти слои отделяются друг от друга поверхностями более чем на 90% покрытыми фюзеном (см. рис. 6). Таким образом, межслоевое «пространство», являющееся основной артерией движения газов в угольных пластах [18, 19], посредством трещин усыхания в витрините соединяясь внутри клареновых слоек с фюзинитом, имеющим в 5 раз большую сорбционную способность, чем витринит [20], создает идеальную систему для доставки кислорода.

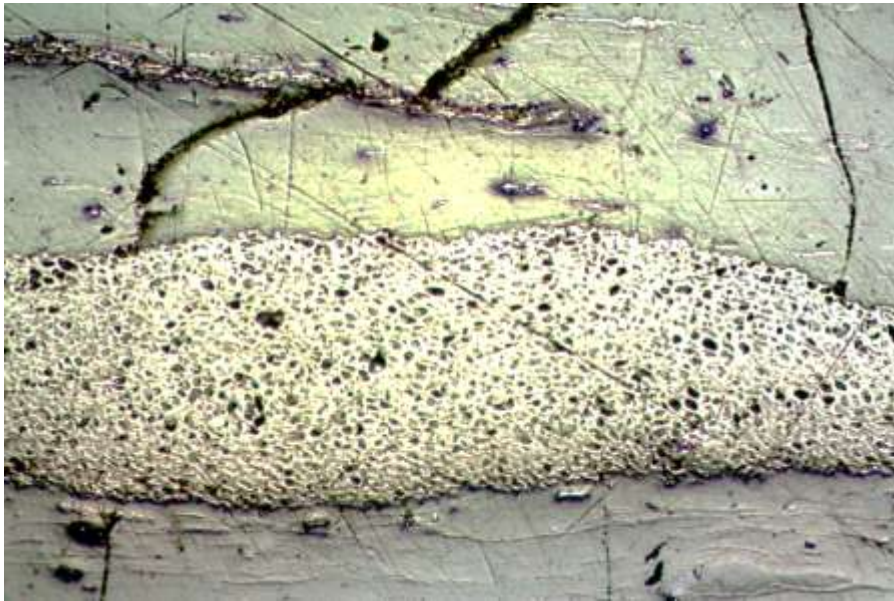


Рис. 8 – Фюзинит препятствует развитию эндогенных трещин усыхания в витрините. Шх. им. А. Ф. Засядько, пласт  $m_3$ , размер изображения 677 x 506 мкм

К тому же, проведенные нами эксперименты по нагреву межслоевой поверхности (в большинстве случаев частично или полностью покрытых фюзеном) углей ш. им. А. Ф. Засядько в струе горячего воздуха ( $350 - 400^\circ\text{C}$ ) показывают, что фюзинит загорается при температуре  $350^\circ\text{C}$ .

Витринит при такой температуре только «плавится, вспучивается» с выделением газообразных продуктов. Температура же воспламенения метана  $535^\circ\text{C}$ . Таким образом, фюзинит, не только является «насосом», доставляющим (благодаря своей высокой сорбционной способности и пористости) кислород к химически активному витриниту, но и первым способен воспламениться. Витринит не загорится пока из него не выйдут летучие вещества и останется твердый остаток - «кокс».

В среднекарбонových углях Донбасса содержание фюзинита редко превышает  $10 - 15\%$ , что характерно и для рассматриваемых нами пластов  $m_3$  и  $l_4$  (табл. 3, рис. 9).

Это позволяет большинству авторов считать среднекарбонových угли Донбасса однородными по петрографическому составу и пренебрегать этим фактором.

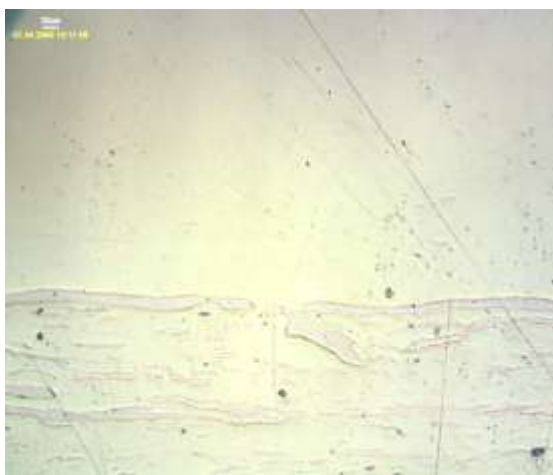
Однако, если учесть пространственное распределение тех же  $16\%$  фюзинита в пласте  $m_3$  шх. им. А. Ф. Засядько, то получаем на метр мощности пласта до 200 плоскостей покрытых фюзинитом на  $90\%$ , которые к тому же посредством эндогенных трещин сообщаются с фрагментами фюзинита внутри клареновых слойков, то получаем «прекрасно подготовленные» природой условия для развития эндогенных пожаров на этом пласте.



Таблица 3 – Петрографический состав углей пластов  $m_3$  и  $l_4$

Пласт	Место отбора	Петрографический состав угольных проб пластов $m_3$ и $l_4$ , %							
		Группа витринита	Группа инертинита				Группа липтинита		
			$Vt_k$	$I_f$	$I_{sf}$	$I_{mi}$	$\Sigma I$	$L_{kt}$	$L_{mis+mas}$
$m_3$	18 западный конвейерный шпрек левая стенка забоя ПК 48+0.5 м	83	3	7	6	16	1	-	1
$l_4$	5 западный откаточный шпрек пласта $l_4$ ПК 29+4.9 м	87	2	-	-	2	2	9	11

а



б



Рис. 9 – (а) уголь пласта  $l_4$  состоит из гелифицированного вещества ( $Vt$ - 87 %), включающего микрокомпоненты липтинита; (б) уголь пласта  $m_3$  состоит из гелифицированного вещества ( $Vt$ -83 %), включающего хрупкие микрокомпоненты инертинита

Следует отметить, что геохимическая обстановка в период накопления материала для пласта  $m_3$  способствовала образованию значительного количества пирита, находящегося в угле, как в виде мелких рассеянных включений, так и в виде крупных конкреций (Рис. 10).

А это еще один дополнительный фактор, увеличивающий склонность угля пласта  $m_3$  к самовозгоранию.

Угольный пласт  $l_4$  на шх. им. А.Ф. Засядько так же, как и пласт  $m_3$ , состоит практически на 90 % из гелифицированного вещества (микрокомпоненты группы витринита), однако остальная часть у него представлена не фюзинитом, а липтинитом, который обладает минимальной сорбционной способностью,

повышенной вязкостью, прочностью и препятствует развитию трещин в виитрините (рис. 11).

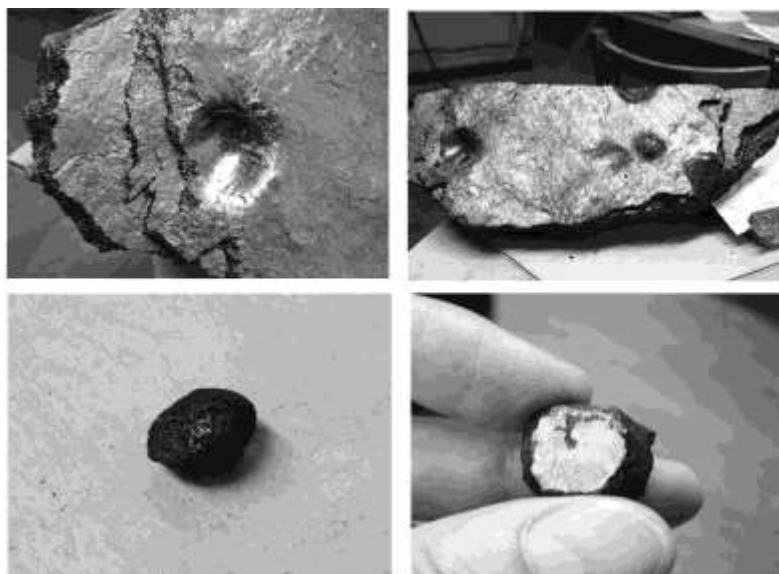


Рис. 10 – Конкреции пирита в угле, пласт  $m_3$  шахты им. А.Ф. Засядько

Еще один геологический фактор, влияющий на склонность углей к самовозгоранию – нарушенность угольных пластов. Но практически всегда, при обсуждении этого фактора имеют ввиду малоамплитудную тектонику: она способствует измельчению угля и, как следствие, увеличению поверхности, способной взаимодействовать с кислородом; кроме того, возникающие трещины являются каналами доставки кислорода и десорбции метана.

Но угли имеют, может быть не такую амплитудную, но зачастую гораздо более развитую сеть эндогенных трещин - трещин усыхания (рис. 12), и систему региональных (площадных) трещин кливажа (рис. 13), наблюдаемых в шахтных условиях через 20 - 30 см; в отдельном куске угля, отделяющемся от пласта в забое благодаря трещинам отжима, через 3 - 5 см; в штуф-аншлифе через 2 - 5 мм и под микроскопом через 20 - 600 мкм.

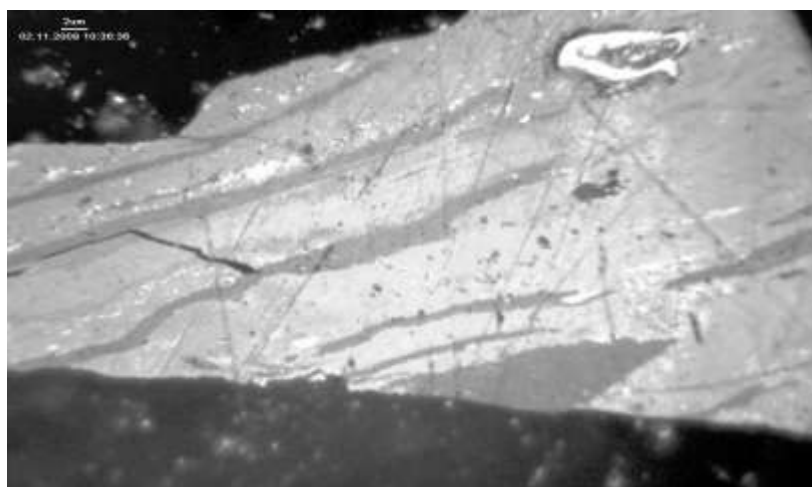


Рис. 11 – Прочные, вязкие микрокомпоненты группы липтинита препятствуют развитию трещин в гелифицированном веществе

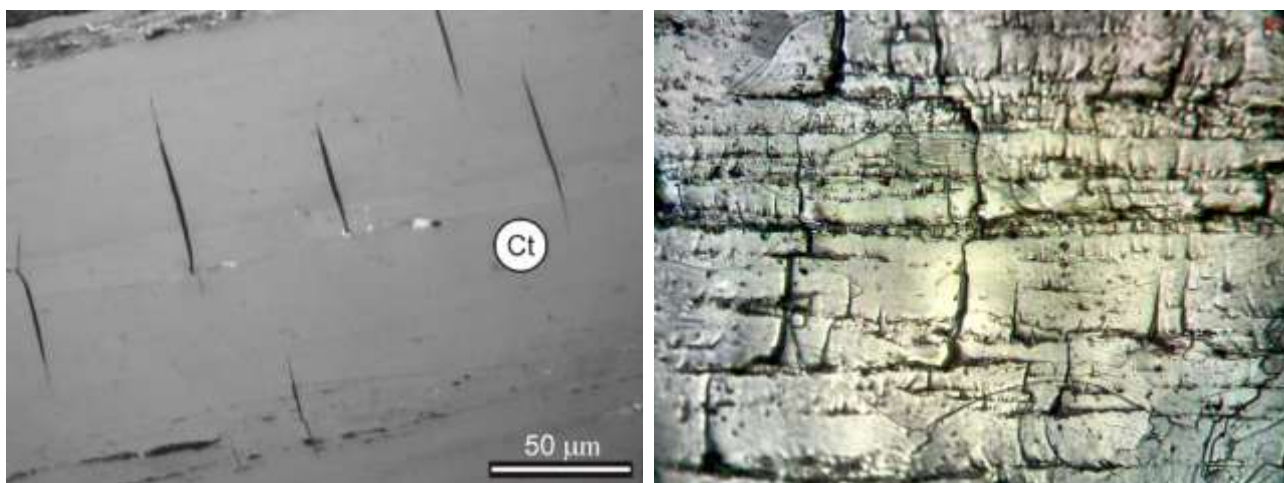


Рис. 12 – Эндогенные трещины усыхания в класеновых литотипах углей

Отбор ориентированных образцов в выработках шахты им. А.Ф. Засядько позволил отметить интересную особенность развития региональной трещиноватости (кливажа) для рассматриваемых пластов:

- трещины кливажа в пласте  $l_4$  простираются с запада на восток, в пласте  $m_3$  - с севера на юг;

- частота кливажных трещин по пласту  $m_3$  в несколько раз выше, чем по пласту  $l_4$ .

Учитывая то, что отработка обоих пластов проводится в направлении З-В, то в случае пласта  $l_4$  происходит естественная дегазация, предотвращающая газодинамические явления. В этом же направлении происходит отток тепла при самонагреве угля.



Рис. 13 – Кливажные трещины: А) в куске ограниченном трещинами отжима; Б) в шпугф-аншифе; В) под микроскопом

Второй аспект фактора нарушенности угольных пластов, на который не обращают внимания, заключается в том, что при различных типах тектонических нарушений к измельчению углей приводят различные процессы. Например, при нарушениях надвигового типа, наряду с дроблением происходит истирание углей. В результате в продуктах разрушения углей значительное количество частиц имеют крайне неправильную форму (рис. 14). Возможно,

именно поэтому места самовозгорания на обоих шахтах приурочены к участкам развития надвиговых дислокаций.

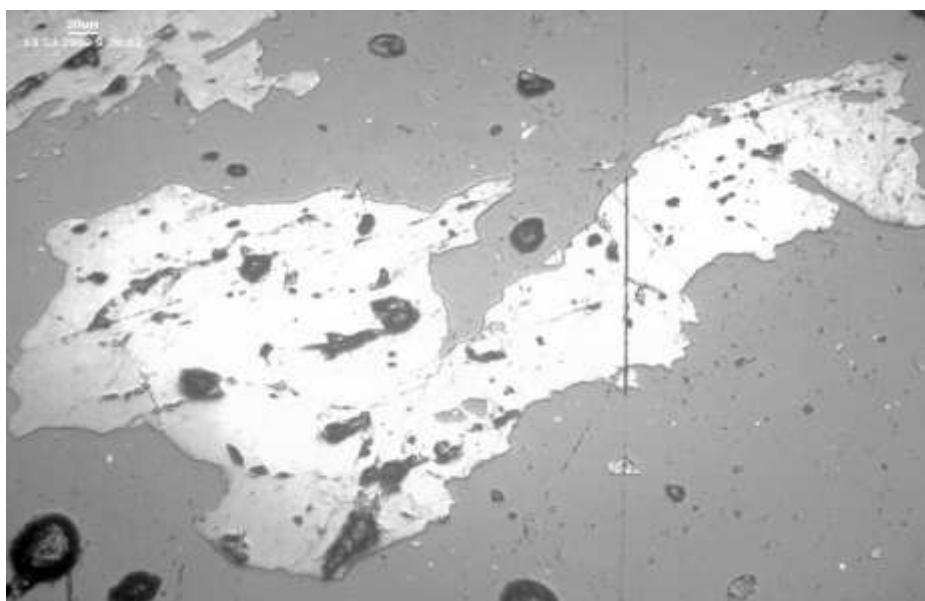


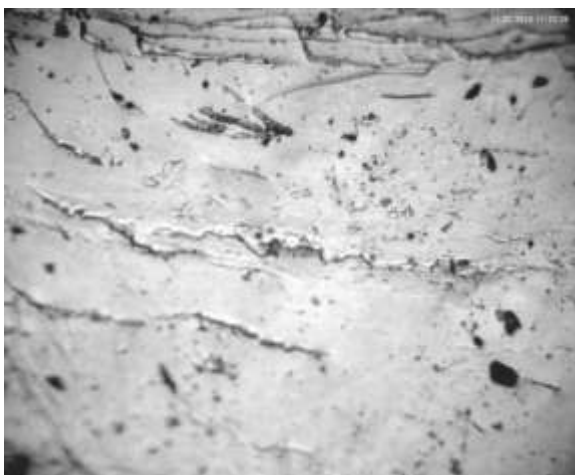
Рис. 14 – Угольные частицы изометричной формы из зоны перемятого угля, шах. им. А. Ф. Засядько, пласт  $m_3$ , размер изображения 677 x 506 мкм

Такие частицы имеют большую удельную поверхность и острые (тонкие) края. Поджечь такую частицу в несколько раз легче, чем например частицу в форме шара или куба [21].

И, наконец, необходимо отметить, что в нарушенность углей весомый вклад вносит процесс газогенерации (рис. 15).

Таким образом, с точки зрения петрографического состава и его пространственного распространения в пластах, отнесение на шах. им. А.Ф. Засядько пласта  $m_3$  к склонным к самовозгоранию, а пласта  $l_4$  к несклонным выглядит вполне обосновано.

а



б

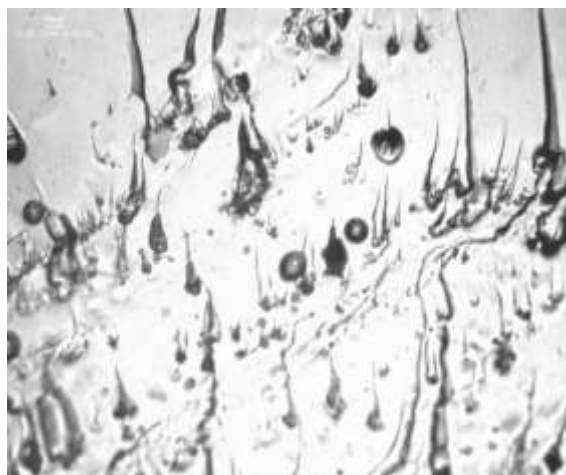


Рис. 15 – Отсутствие следов газовыделений в угле пласта  $l_4$  (а); большое количество следов газовыделений в угле пласта  $m_3$  (б)



**Шахта Трудовская.** Петрографический состав рассматриваемых углей (пласты  $l_4$  и  $m_3$ ) аналогичен петрографическому составу этих же пластов на шах. им. А. Ф. Засядько.

В отличие от шахты им. А.Ф. Засядько, здесь у углей обоих пластов слоистость выражена в меньшей степени, хотя у пласта  $m_3$  более отчетливо, чем у  $l_4$ . Межслоевые поверхности угля пласта  $m_3$  ровные, частично покрыты фюзеном, расслаивание угля пласта  $l_4$  происходит по крайне неровной поверхности имеющей характерный для гелифицированного вещества блеск (рис. 16).

При рассмотрении этих естественных сколов под микроскопом обнаруживается специфическая структура. Профессор Львовского университета В.И. Узинок считает, что это сохранившаяся структура исходного растительного материала, однако она наблюдается только в латеральном плане (именно на межслоевых поверхностях) и отсутствует на поверхностях расположенных вкрест простирания пласта.

Но можно предположить, что, неровности межслоевых поверхностей пласта  $l_4$  повторяют рельеф поверхности бассейна (рис. 17) накопления исходного растительного материала. Тогда это можно объяснить тектоническими и литолого-фациальными условиями формирования отложений (см. табл. 1). Для тектоники района в карбоне характерны вертикальные колебательные движения. Накопление отложений, происходило в условиях заиливающихся частей обводненных торфяных болот при частой смене приливо - отливных колебаниях уровня моря. Небольшая глубина погружения отложений и невысокая температура преобразования, характерные для марки Д, позволили сохранить «листоватую» слоистость поверхности, образовавшуюся при при колебательных и поступательных движениях водной среды.

Палеослепки поверхности водоемов (знаки ряби, донных течений, следы капель дождя и другие абиогенные текстуры) встречаются исследователями довольно часто [22]. Следует однако заметить, что малая сернистость углей пласта  $l_4$  противоречит нашим предположениям.

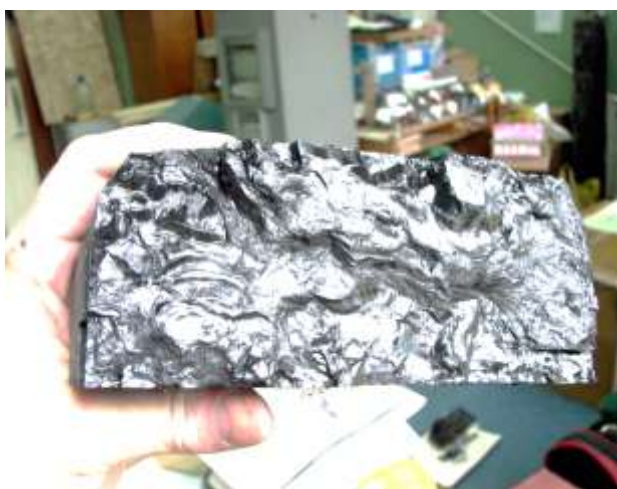


Рис. 16 – Межслоевая поверхность угля пласта  $l_4$



Рис. 17 – А) микроструктура межслоевой поверхности угля пласта  $l_4$ , изображенной на рисунке 15; Б) прибрежно – морская поверхность

В штуф-аншифах и на микроуровне кливажных трещин (подобных изображенным на рисунке 14 для шахты им. А.Ф. Засядько) в обоих пластах не наблюдается.

В угле пласта  $l_4$  встречаются отдельные палеоследы газовыделений, в угле пласта  $m_3$  они практически отсутствуют (рис. 18).

Не склонный к самовозгоранию пласт  $m_3$  на этой шахте, относительно пласта  $m_3$  на шахте им. А.Ф. Засядько, характеризуется меньшей сернистостью, меньшей газогенерационной активностью.

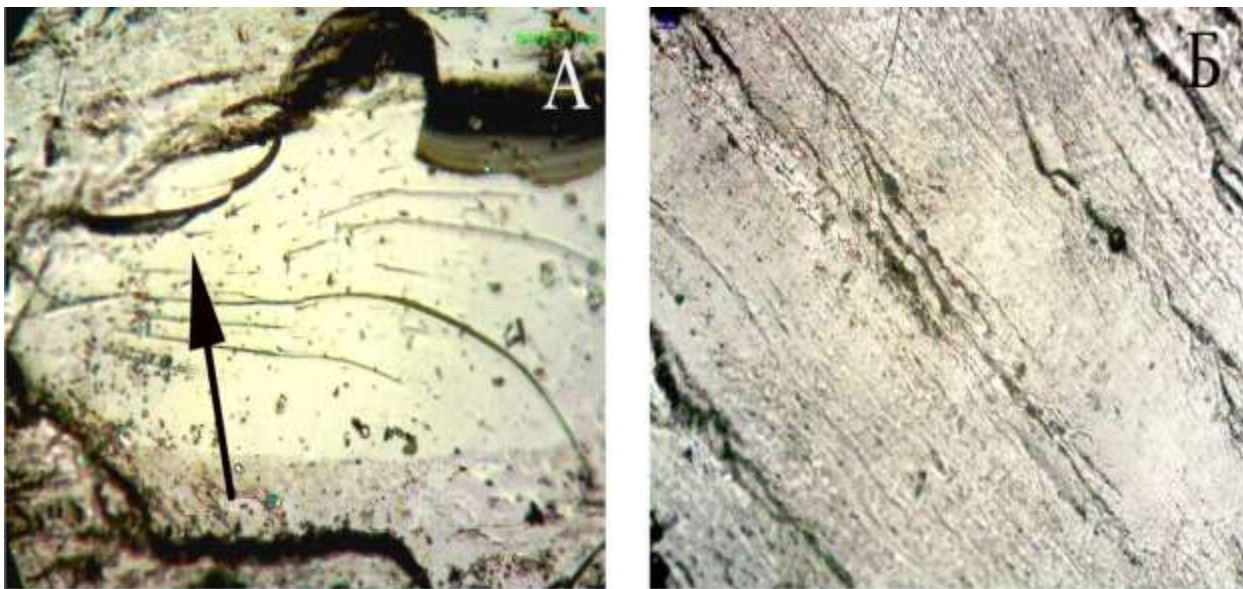


Рис. 18 – Отдельные следы газогенерации на пласте  $l_4$  (А), отсутствие таких следов на пласте  $m_3$  (Б)

Склонный к самовозгоранию пласт  $l_4$  (шахта «Трудовская») по петрографическим признакам практически не отличается от несклонного к

самовозгоранию пласта  $l_4$  на шах. им. А.Ф. Засядько. Вероятно, на этой стадии углефикации (марка «Д»), качество гелифицированного вещества (микрокомпоненты группы витринита) превалирует над разнообразием и пространственным распределением петрографических микрокомпонентов.

Выводы:

- углы падения пластов, глубина отработки, строение и мощность угольных пластов исследуемых шахт существенно не влияют на склонность углей к самовозгоранию;

- общими для самовозгораемых пластов являются литолого-фациальные условия накопления пластов, на исследуемых шахтах они подобны и отличаются от пластов несклонных к самовозгоранию, что подтверждается экспериментальными данными угольного вещества физическими методами (ИК-спектроскопии и ЭПР);

- одноименные пласты на исследуемых шахтах существенно отличаются по своим свойствам. В соответствии с петрографическими характеристиками (см. табл. 2) они были сформированы из практически одинакового исходный фитоматериала. Следовательно, наблюдаемые отличия в свойствах углей сформировались при различных термодинамических условиях (давление и температура). Так же на процессы преобразования органического вещества могли повлиять каталитические свойства минеральной составляющей угля, и различия в окислительно-восстановительных условиях среды.

- склонность углей к самовозгоранию предопределяется целым комплексом причин и отдельный фактор, превалирующий в отдельном конкретном случае, может оказаться совсем неинформативным в другом случае;

- в сложившейся ситуации, на данном этапе научных знаний об эндогенной пожароопасности логичным является подход, предложенный НИИГД «Респиратор». Однако, эта методика значительно выиграет при учете детального анализа конкретных геологических факторов в каждом конкретном случае. Перспективным направлением изучения данной проблемы будет также исследование свойств основной составляющей углей - гелифицированного вещества на молекулярном уровне.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Каталог углей СССР, склонных к самовозгоранию /Н. И. Линденау, В. М. Маевская, Е. С. Вахрушева и др. – М.: Недра, 1981. – 416 с.
2. Гольнская, Ф.А. Концептуальные положения о геологических факторах самовозгорания углей /Ф.А. Гольнская //ГИАБ, 2009. – № 1. – С. 35–39.
3. Крикунов, Г.Н. О возможности определений склонности углей к самовозгоранию по их петрографическим признакам /Г.Н. Крикунов, Р.И. Котлер //Вопр. борьбы с газом, пылью и подземными пожарами в горной промышленности. – М.: Недра, 1964. – № 16. – С.47–53.
4. Крикунов, Г.Н. Механизм замедления и ускорения низкотемпературного процесса окисления куска угля с различной химической активностью /Г.Н. Крикунов, Р.И. Котлер // Вопр. борьбы с газом, пылью и подземными пожарами в горн. промышленности. – М.: Недра, 1964. – № 16. – С. 74–81.
5. Кошовский, Б.И. Пути повышения достоверности определения склонности углей к самовозгоранию /Б.И. Кошовский, П.С. Пашковский, В.В. Карасева //Уголь Украины, 2008. –№1. – С. 45–47.
6. Склонность к самовозгоранию углей, шахтных пород и отходов углеобогащения. Методика определения: КД. 12.01.04.009-2000. – Донецк, 2000. с.
7. Корольченко, А.Я. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения/А.Я. Корольченко. Д.А. Корольченко //Справочник: в 2-х ч. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Асс. Пожнаука, 2004. —

Ч. 1. — 713 с; Ч. 2. — 774 с.

8. Саранчук, В.И. Исследование кинетики низкотемпературного окисления длиннопламенных углей Донбасса /В.И. Саранчук, Л.В. Пашенко // ХТТ, 1989. — № 1. с.

9. Кузяра, С.В. Прогноз и предупреждение самовозгорания угля в пластах и взрывов в шахтах / С.В. Кузяра, И.Д. Дроздник, Ю.С. Кафтан, Ю.Б. Должанская. //Уголь Украины, 2005. — № 11. — С. 32–34.

10. Греков, С.П. Теплообменные процессы при самонагревании углей в зонах геологических нарушений / С.П. Греков, П.С. Пашковский, И.Н. Зинченко //Вестник Херсонского нац. техн. ун-та. — Вып. 35 (2). — Херсон: ХНТУ, 2009. — С. 172–180.

11. Плюснина, И.И. Инфракрасные спектры минералов /И.И. Плюснина // М.: Изд. МГУ, 1976. — 175 с.

12. Накамото, К. ИК-спектры и спектры КР неорганических и координационных соединений /К. Накамото. — М.: Мир, 1991. — 536 с.

13. Андруз, Дж., Бримблекумб П., Джикелз Т., Лисс П. Введение в химию окружающей среды /Дж. Андруз, П. Бримблекумб, Т. Джикелз, П. Лисс. — М.: Мир, 1999. — 271 с.

14. Глебовская, Е.А. Применение инфракрасной спектроскопии в нефтяной геохимии /Е.А. Глебовская. — Л.: Недра, 1971. — 140 с.

15. Кухаренко, Т.А. Окисленные в пластах бурые и каменные угли /Т.А. Кухаренко. — М.: Недра, 1972. — 214 с.

16. Черепанова, Е.С. О парамагнетизме пнтрографических компонентов каменного угля /Е.С. Черепанова, Л.С. Любченко, А.Ф. Луковников //ХТТ, 1979. — № 5. — С. 17–21.

17. Штах, Э. Петрология углей /Э. Штах, М.-Т. Маковски, Г.Тейлор. — М.: Мир, 1978. — 554 с.

18. Майборода, А.А. Газогенерирующее рассеянное органическое вещество и его распределение в угленосных формациях Донбасса /А.А. Майборода, В.А. Анциферов //Наукові праці УкрНДМІ НАН України, 2007. — № 1. — С.21–38.

19. Журавлев, В.П. Изменение фильтрационных свойств пласта по его сечению /В.В. Журавлев. //Вопросы борьбы с газом, пылью и подземными пожарами в горной промышленности. — М.: Недра, 1964. — № 16. — С. 3–5.

20. Эттингер, И.Л. Распределение метана в порках ископаемых углей /И.Л. Эттингер, Н.В. Шульман. — М.: Наука, 1975. — 262 с.

21. Франк-Каменецкий, Д.А. Диффузия и теплопередача в химической кинетике /Д.А. Франк-Каменецкий. — М.: Наука, 1987. — 502 с.

22. Шульга, В.Ф. Ископаемые знаки выделения газа в угленосных отложениях Львовско- Волынского бассейна /В.Ф. Шульга, А.Е. Лукин, Б.И. Лелик //Литология и полезные ископаемые, 2000. — № 5. — С. 554–560.

## **УДК 622.324.5.004.82:622.481.24.012.2**

вед. инж. Д.Н. Пимоненко  
(ИГТМ НАН Украины)

### **УТИЛИЗАЦИЯ КАПТИРУЕМОГО МЕТАНА УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ В ШАХТНЫХ КОТЕЛЬНЫХ УСТАНОВКАХ**

У статті розглядається питання утилізації метану вугільних пластів у шахтних котельних установках з метою забезпечення його переробки у теплову та електричну енергію на базі когенераційних технологій, що дозволить вирішити ряд економічних, екологічних та соціальних проблем вуглевидобувних підприємств.

### **UTILIZATION CAPPING METHANE OF COAL SEAMS IN MINE BOILER ROOMS INSTALLATIONS**

In article is considered question utilization methane of coal seams in mine boiler rooms installations with the purpose maintenance of his processing in thermal and electric energy on base cogenerations technologies, that will allow to decide many economic, ecological and social problems of the coal-mining enterprises.

Общей мировой тенденцией на рубеже XX и XXI века является рост цен на тепловую и электрическую энергию, обусловленный ростом спроса и энергопотребления на производстве и в быту. Дефицит традиционных видов