

ГЕОЭКОЛОГИЯ

УДК 553.94.96

ОСТАТОЧНЫЕ УГЛЕВОДОРОДЫ УГЛЕЙ И ОЦЕНКА ИХ РОЛИ В РАЗВИТИИ
ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНЫХ СИТУАЦИЙ В УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ

В.С. ЛЕБЕДЕВ¹, О.В. СКОПИНЦЕВА², И.Е. СТУКАЛОВА³

¹*Российский государственный геологоразведочный университет
117997, Россия, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, 23; e-mail: vslebed@yandex.ru*

²*МГИ НИТУ (МИСЦ)
Россия, г. Москва, Ленинский пр., 3; e-mail: skopinseva54@mail.ru*

³*Геологический институт Российской академии наук (ГИН РАН)
119017, Россия, г. Москва, Пыжевский пер., 7; e-mail: stukalova@ginras.ru*

Приведены результаты исследования остаточных углеводородов углей — от бурых до антрацитов. Выделение остаточных углеводородов проводилось при 200 °С. Установлена зависимость состава углеводородов от стадии метаморфизма углей. Наибольшее содержание остаточных углеводородов (до 70 см³/кг) установлено в углях средних стадий метаморфизма, в которых преобладают содержания тяжелых углеводородов до 97 отн. %. В бурых углях количество остаточных углеводородов невысокое, а тяжелых углеводородов (62 отн.%) также выше, чем CH₄. В углях высоких стадий метаморфизма (полуантрацитах и антрацитах) содержание остаточных углеводородов низкое, преобладает CH₄.

Ключевые слова: газы угольных пластов; остаточные углеводороды в углях; десорбция; термическая дегазация; температура воспламенения углеводородов; возгорание и взрывы в угольных шахтах.

RESIDUAL HYDROCARBONS OF COAL AND EVALUATION OF THEIR ROLE IN
DEVELOPMENT OF FIRE AND EXPLOSION EMERGENCIES IN COAL MINES

V.S. LEBEDEV¹, O.V. SCOPINSEVA², I.E. STUKALOVA³

¹*Russian State Geology-prospecting University
117997, Russia, Moscow, Mikluho-Maklaya st., 23; e-mail: vslebed@yandex.ru*

²*National University of Science and Technology MISiS, Mining Institute
119991, Russia, Moscow, Leninsky Prospekt, 6; e-mail: skopintseva54@mail.ru*

³*Geological institute of Russian academy of sciences
119017, Russia, Moscow, Pyzhevsky lane, 7; e-mail: stukalova@ginras.ru*

The paper presents the results of study of the residual hydrocarbons of coal, from brown coals to anthracites. Extraction of the residual hydrocarbons was performed at 200 °C. The dependence of the composition of the hydrocarbons on the stage of coal metamorphism has been defined. The highest content of the residual hydrocarbons (up to 70 cm³/kg) has been defined in coals of middle stages of metamorphism, where heavy hydrocarbons are predominating (heavy hydrocarbon fraction reaches 97 percent relative). In brown coals the content of residual hydrocarbons is low, the heavy hydrocarbons also prevail over CH₄ (proportion of heavy hydrocarbons is on average 62 per cent relative). In the coals of higher stages of metamorphism (semi-anthracite and anthracite) the content of residual hydrocarbons is low and CH₄ prevails. Residual hydrocarbons might be emitted from the coal during the mining in the shaft air. The role of residual hydrocarbons enriched in heavy hydrocarbons is reviewed in the sense of the development of fire and explosion emergencies in coal mines.

Key words: coal-bed gases; residual hydrocarbons in coal; desorption; thermal degassing; the ignition temperature of hydrocarbon; fires and explosions in coal mines.

В процессе углефикации генерируется огромное количество газов, преимущественно углеводородов (УВ). Изучение состава УВ, закономерностей их истечения при вскрытии угольных пластов имеет научное и практическое значение для установления взаимодействий в системе уголь—газ и для снижения пожаровзрывоопасности (ПВО) при эксплуатации угольных месторождений.

В свободных газах угольных пластов преобладает CH_4 , содержание тяжелых углеводородов (ТУ) обычно не превышает 1–5%. В ряде публикаций [1, 3, 11, 12, 15] приведены сведения о повышенных и высоких концентрациях ТУ. Отмечается, что повышенное содержание ТУ в свободных газах угольных пластов увеличивает ПВО на угольных шахтах.

При вскрытии угольных пластов и снижении давления происходит последовательное выделение УВ из углей в соответствии с миграционными свойствами. Метан, как наиболее подвижный компонент, опережает выделение ТУ; они начинают выделяться после истечения из пласта основного количества CH_4 . В России, Великобритании, США, Австралии и других странах проводились теоретические и экспериментальные десорбционно-кинетические исследования по динамике выхода CH_4 из углей [11, 16] для прогноза выбросоопасных участков.

В результате истечения основной массы CH_4 в угле остаются остаточные углеводороды (ОУВ), обогащенные ТУ. ОУВ сохраняются в угольной массе длительное время (годы) и выделяются при жестком воздействии на уголь (измельчение, тепловое воздействие, вакуумирование). Высвобождение ОУВ, обогащенных ТУ, в шахтное пространство повышает ПВО угольных шахт.

В литературе приводятся данные о содержании и составе ОУВ (используется термин «сорбированные УВ»), выделяемых при интенсивном воздействии на угольную массу. Так, Е.С. Розанцев и Н.П. Таран [13] изучали газы выбросоопасных участков, приводят данные о содержании 40–60 % ТУ в газах, выделенных из угля в процессе его нагревания до 80 °С. И.С. Старобинец с соавторами [14] приводит данные о содержании до 40 % ТУ от суммы всех УВ. Для извлечения газов из углей они применяли вакуумную дегазацию и нагрев до 200 °С. Содержание сорбированных УВ достигало 43–59 $\text{см}^3/\text{кг}$, доля ТУ — до 40 % (от суммы УВ), установлена тенденция к возрастанию их содержания от стадии протокатагенеза (ПК₂) к стадиям мезокатагенеза (МК) и апокатагенеза (АК).

Авторами приведены результаты исследований ОУВ в углях (от бурых до антрацитов) и дана оценка роли ОУВ в развитии ПВО ситуаций в угольных шахтах. В [4–6] приведены результаты исследований ОУВ бурых и каменных углей раздельно и в различных бассейнах. Несомненный интерес пред-

ставляет совместное рассмотрение и сопоставление характеристик и анализ пожаровзрывоопасности остаточных углеводородных газов широкого ряда углей.

Методика исследований

Для выделения и определения состава ОУВ был использован метод термической дегазации — нагревание при температуре 200 °С в атмосфере инертного газа и определение содержания и состава выделяющихся УВ [8]. Установка для выделения УВ вмонтирована в газовую систему хроматографов («Кристалл-5000.1», «М-37600»), выделение и анализ УВ проводилось в едином цикле. Определялось содержание предельных (метан CH_4 , этан C_2H_6 , пропан C_3H_8 , бутан C_4H_{10} , пентан C_5H_{12} , гексан C_6H_{14}) и непредельных (этилен C_2H_4 , пропилен C_3H_6 , бутилен C_4H_8) углеводородов. Результаты определений даны в объёмных долях процента (об. %) и в $\text{см}^3/\text{кг}$, погрешность определений ± 3 отн. %. Состав УВ приводится в относительных процентах (отн. %).

Результаты исследований и обсуждение

Остаточные углеводороды бурых углей. Объектами исследований являлись бурые угли пластов от каменноугольного до неогенового возрастов. Исследованы ОУВ образцов бурых углей (марки 1Б, 2Б и 3Б) из 20 месторождений и углепроявлений, отобранных из неглубоких шахт (200–300 м) и карьеров. Всего изучено содержание и состав ОУВ более 50 проб всех марок бурых углей. Детально результаты исследований ОУВ бурых углей (содержание и углеводородный состав ОУВ) представлены в [5]. В данной работе приведены основные результаты из [5] и проведено сопоставление состава ОУВ бурых углей (средние данные по ОУВ бурых углей) с составом ОУВ каменных углей.

В ОУВ бурых углей установлено присутствие УВ от метана до гексана, в некоторых пробах присутствовали более тяжелые УВ. Содержание ОУВ варьировало от 2,1 до 17,1 со средним значением 7,2 $\text{см}^3/\text{кг}$. Значительные вариации содержания ОУВ объясняются различием исследованных объектов — неглубокие шахты (до 200–300 м) и карьеры.

Состав ОУВ всех исследованных объектов, несмотря на их различие, практически идентичен (рис. 1). Не установлено чётких отличий состава ОУВ в различных марках бурых углей.

Среднее содержание метана (CH_4) составляет 37,7 отн. %, сумма тяжелых углеводородов от этана до гексана (C_2H_6 — C_6H_{14}) значительно выше — 62,3 отн. %. ОУВ бурых углей существенно обогащены ТУ. Среди ТУ преобладают непредельные углеводороды: этилен C_2H_4 и пропилен C_3H_6 (41 отн. %), доля предельных УВ (этан C_2H_6 и пропан C_3H_8) составляет 12,5 отн. %.

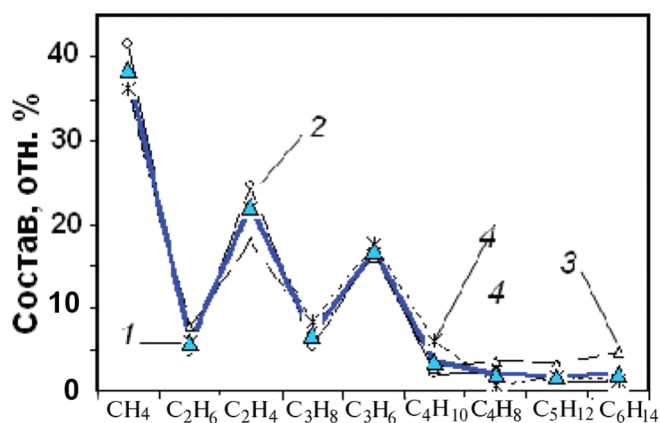


Рис. 1. Состав ОВУ бурых углей: 1 – средний состав; 2 – уголь Б-1; 3 – уголь Б-2; 4 – уголь Б-3

Основная масса CH_4 выделилась при вскрытии пластов и снижении давления, а оставшиеся в угле УВ обогатились ТУ. Такой состав ОВУ бурых углей определяется диагенетическими процессами преобразования органического вещества (ОВ) при формирования бурых углей. ОВ преобразуется под воздействием биохимических процессов, а также микроорганизмов. На стадии диагенеза в значительных количествах образуется диоксид углерода как в аэробных, так и анаэробных условиях. В анаэробных условиях в результате жизнедеятельности метангенерирующих бактерий возникает значительное количество CH_4 , отмечены в небольших количествах и непредельные тяжелые углеводороды [1].

Остаточные углеводороды каменных углей и антрацитов. Исследованы ОВУ каменных углей и антрацита Кузнецкого и Донецкого угольных бассейнов. Детальные результаты исследований опубликованы в [6], здесь рассмотрены результаты исследований в сравнительном аспекте.

В Кузнецком угольном бассейне изучены угольные пласты пермского возраста в интервалах глубин 300–800 м из шахт: Осинниковская (марка угля Ж из пластов Е-6, Е-5, Е-1, К-5 и уголь марки КЖ из пласта К-1), Талдинская (уголь марки ДГ и Г), им. С.М. Кирова (Г), Алардинская (ОС) и Грамотейнская (Д). Всего изучено более 30 образцов различных марок углей Кузнецкого бассейна (содержание и углеводородный состав ОВУ). Исследованы ОВУ из углей марок Д, ДГ, Г, Ж, КЖ, и ОС. Характеристика ОВУ представлена в табл. 1.

Содержание ОВУ варьировало от 6,6 до 43,9 $\text{см}^3/\text{кг}$, среднее значение 18 $\text{см}^3/\text{кг}$, и зависело от марки угля (соответственно от степени преобразования угольной массы). Наибольшее содержание ОВУ (43,9 $\text{см}^3/\text{кг}$) установлено в угле марки Ж (шахта Осинниковская, пласт К-5). С уменьшением и увеличением степени преобразования (относительно угля марки Ж) установлено снижение количества ОВУ.

Таблица 1

Характеристика ОВУ углей Кузнецкого бассейна

Марка угля	Содержание, $\text{см}^3/\text{кг}$			Состав УВ, отн. %	
	сумма УВ	метан	тяжелые УВ	метан	тяжелые УВ
Д	12,4	1,7	10,7	13,8	86,2
ДГ	7,4	1,4	6,0	18,8	81,2
Г	7,5	2,0	5,5	26	74
Ж	30,9	1,7	29,2	6,0	94
КЖ	11,5	1,5	10,0	13	97
ОС	9,8	1,4	8,4	14	86

Тяжелые УВ в ОВУ в основном представлены пропаном (22 отн. %) и бутаном (29 отн. %). Содержание CH_4 низкое, варьирует в небольших пределах и мало зависит от марки угля.

Концентрация непредельных УВ ($\text{C}_2\text{H}_4 + \text{C}_3\text{H}_6$) варьирует в пределах от 0,4 до 1,3, среднее 0,9 $\text{см}^3/\text{кг}$. По мере увеличения степени преобразования угольной массы снижается содержание непредельных УВ от 1,3 $\text{см}^3/\text{кг}$ в угле марки Д до 0,4 $\text{см}^3/\text{кг}$ в угле марки ОС,

Содержание предельных и непредельных УВ в ОВУ каменных углей Кузбасса существенно отличается от такового бурых углей. В ТУ из ОВУ бурых углей преобладают непредельные УВ, а в ОВУ углей Кузбасса картина обратная.

В Донецком угольном бассейне исследовались угольные пласты каменноугольного возраста из шахт нескольких районов — Донецко-Макеевского, Южно-Донбасского, Чистяково-Снежнянского и др. Изучались ОВУ серии образцов углей марок Д, Г, Ж, КЖ, К, Т, ОС и антрацитов. Глубины отбора образцов от 400–600 до 1200 м. Детально результаты исследований ОВУ в углях Донбасса рассмотрены в [4], в данной статье результаты сравниваются с Кузнецким бассейном.

Характеристика ОВУ углей Донбасса представлена в табл. 2. Наиболее высокие содержания ОВУ установлены в углях марок Ж и КЖ (от 47,5 до 71,5 $\text{см}^3/\text{кг}$). В углях марок Д и Г, а также ОС и Т содержание ОВУ снижается (от 7 до 24 $\text{см}^3/\text{кг}$). В ОВУ исследованных углей Донбасса преобладают

Таблица 2

Характеристика ОВУ углей Донбасса

Марка угля	Содержание, $\text{см}^3/\text{кг}$			Состав, отн. %	
	сумма УВ	метан	тяжелые УВ	метан	тяжелые УВ
Д	6,7	1,2	5,5	18	82
Г	6,4	1,0	5,4	17	83
Ж	45,7	1,2	44,5	2,6	97,4
КЖ	73	1,0	72	1,4	98,6
ОС	24	2,6	21,4	11	89
Т	14	1,0	13	7	93
ПА	2	1,4	0,6	70	30
А	2,4	2,2	0,2	92	8

ТУ, представленные преимущественно пропаном и бутаном, доля метана незначительна. Исключение составляют ОУВ полуантрацитов и антрацитов, где преобладает метан.

Концентрация непредельных УВ невысокая — от 0,4 до 1,3, среднее 0,9 см³/кг, и снижается по мере увеличения степени преобразования угольной массы — от 1,3 см³/кг в угле марки Д до 0,4 см³/кг в угле марки ОС. Содержание предельных и непредельных УВ в ОУВ углей Донбасса резко отличается от такового в бурых углях. В ТУ ОУВ бурых углей превалируют непредельные УВ над предельными. В ОУВ каменных углей Донбасса картина обратная.

Сопоставление ОУВ углей Кузнецкого и Донецкого бассейнов

В Кузнецком и Донецком бассейнах исследованы ОУВ каменных углей одинаковых марок и несомненный интерес представляет сопоставление состава ОУВ Кузбасса и Донбасса (табл. 3).

Несмотря на различие в величинах содержания ОУВ в углях Кузбасса и Донбасса, распределение ОУВ в одинаковых марках углей в обоих бассейнах близкое. Максимальные количества УВ в обоих бассейнах установлены в углях марок Ж и КЖ.

Сопоставление ОУВ в угле марки Ж Кузбасса и Донбасса показало их идентичность (рис. 2).

Содержание непредельных УВ (этилен+пропилен) в ОУВ углях Кузнецкого и Донецкого бассейнов низкое, практически одинаковое, закономерно снижается с увеличением степени метаморфизма углей.

Характеристика ОУВ всего ряда исследованных углей

Обобщение данных по ОУВ углей по отдельным бассейнам и месторождениям позволяет представить характеристику всего ряда исследованных ОУВ углей от бурых до антрацитов.

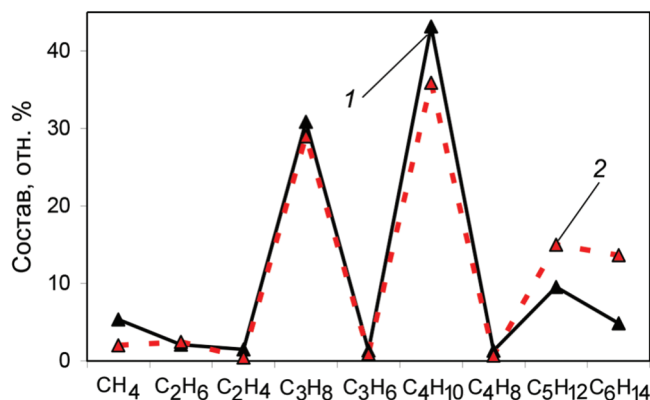


Рис. 2. Сопоставление состава ОУВ угля марки Ж Кузбасса и Донбасса: 1 – Кузбасс; 2 – Донбасс

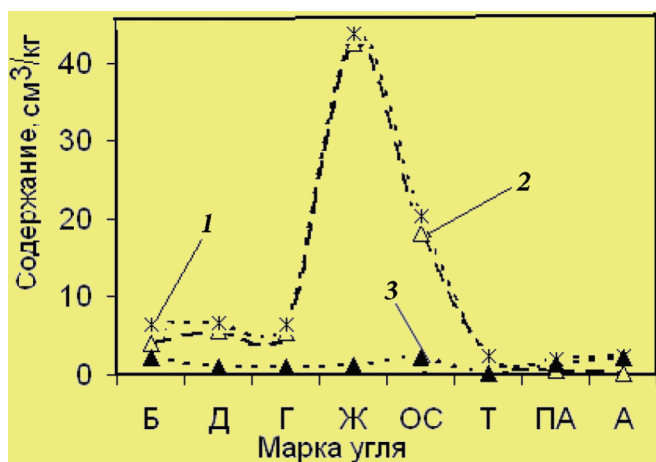


Рис. 3. Содержание суммы УВ: 1 – суммы УВ; 2 – тяжелые углеводороды; 3 – метан

На рис. 3 показано содержание суммы ОУВ, ТУ и метана углей от бурых до антрацита. Максимальные сумма УВ и количество ТУ установлена в ОУВ углей средних степеней метаморфизма, при уменьшении и увеличении степени метаморфизма углей (относительно средней степени метаморфизма) сумма УВ и ТУ снижается. В ОУВ углей марок от Б до Т существенно преобладание ТУ над СН₄. В по-

Таблица 3

Характеристика ОУВ углей Кузнецкого и Донецкого бассейнов

Марка угля	Угольный бассейн	Содержание, см ³ /кг			Состав, отн. %	
		сумма УВ	метан	тяжелые УВ	метан	тяжелые УВ
Д	Кузбасс	12,5	1,7	10,7	13,8	86,2
	Донбасс	6,7	1,2	5,5	18	82
Г	Кузбасс	7,5	2,0	5,5	26	74
	Донбасс	6,4	1,0	5,4	17	83
Ж	Кузбасс	30,9	1,7	29,2	6,0	94
	Донбасс	45,7	1,2	44,5	2,6	97,4
КЖ	Кузбасс	11,5	1,5	10,0	13	97
	Донбасс	73	1,0	72	1,4	98,6
ОС	Кузбасс	9,8	1,4	8,4	14	86
	Донбасс	24	2,6	21,4	11	89

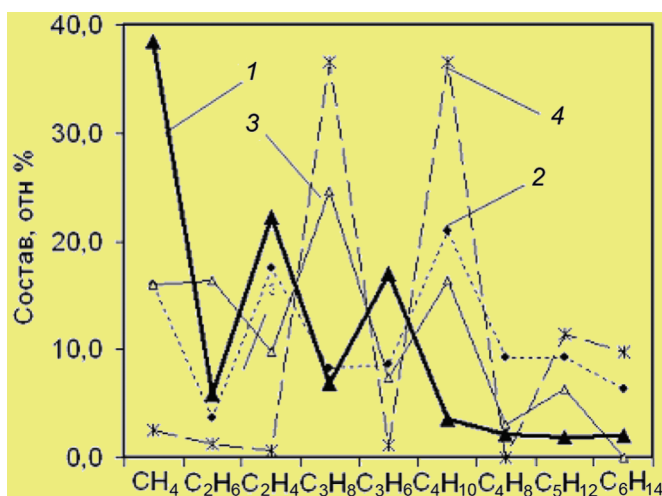


Рис. 4. Состав ОУВ бурых и каменных углей: 1 – бурый; 2 – марка Д; 3 – марка Г; 4 – марка Ж

луантрацитах и антрацитах, при низком содержании ОУВ, ТУ практически отсутствуют.

На рис. 4 отражён состав ОУВ бурых и каменных углей из исследованных образцов. Содержания ОУВ в бурых углях невысокое (в среднем 7–8 см³/кг). В ОУВ бурых углей доля СН₄ составляет 37,7 отн. %, сумма тяжёлых углеводородов — 62,3 отн. %, т. е. ОУВ бурых углей обогащены ТУ.

В ОУВ бурых углей ТУ преобладают непредельные углеводороды С₂Н₄ и С₃Н₆, суммарная доля которых составляет 41 отн. %, а доля предельных УВ (С₂Н₆ + С₃Н₈) — 12,5 отн. % от суммы ТУ. Такой состав ОУВ бурых углей определяется химическими и биохимическими условиями формирования бурых углей. Основная масса СН₄ выделилась раньше и оставшиеся в угле УВ обогатились ТУ. Формирование бурых углей протекает под воздействием биохимических процессов, в том числе под воздействием микроорганизмов. В результате образуется метан и в небольших количествах ТУ, в том числе непредельные.

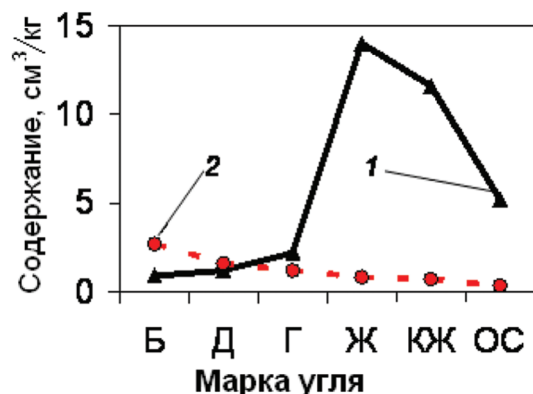


Рис. 5. ОУВ углей. Содержание предельных и непредельных УВ: 1 – предельные (этан+пропан); 2 – непредельные (этилен+пропилен)

В ОУВ каменных углей преобладают ТУ (от 80 до 97 отн. %). Формирование каменных углей протекает при физико-химических процессах преобразования угольной массы в условиях повышенных температур и давлений. Активность биохимических процессов существенно снижается, часто полностью прекращается. По составу ОУВ к бурым углям наиболее близки длиннопламенные. В формировании длиннопламенных углей роль биохимических процессов ещё существенна, что отражается в повышенных содержаниях непредельных УВ в ОУВ относительно углей более высоких стадий преобразования.

Содержание в ОУВ углей непредельных УВ закономерно снижается по мере повышения степени метаморфизма углей от 2,7 см³/кг в ОУВ бурых углей до 0,35 см³/кг в углях марки ОС (рис. 5). В полуантрацитах и антрацитах содержание ОУВ низкое и УВ представлены в основном метаном.

Подводя итоги результатов исследований ОУВ углей различных марок (от бурых до антрацитов) можно отметить следующее.

При вскрытии угольных пластов в результате снижения давления метан практически полностью выделяется из угля. В результате оставшиеся в угле УВ (т. е. ОУВ) существенно обогащаются ТУ. При тепловом воздействии на уголь ОУВ могут выделяться в шахтное пространство и повышать ПВО угольных шахт.

Оценка роли ОУВ в развитии пожаровзрывоопасных ситуаций в угольных шахтах

Проблема пожаровзрывоопасности в угольных шахтах является общемировой и требует решения. Во многих работах [3, 10, 12, 15 и др.] отмечается, что повышенные и высокие содержания ТУ в газах угольных пластов повышают ПВО угольных шахт. Представленные авторами материалы позволяют предположить, что повышенное содержание ТУ в ОУВ и их выделение в процессе добычи угля также является фактором создания ПВО ситуаций в угольных шахтах.

Оценка роли ОУВ углей (ранее использовался термин глубокосорбированные углеводороды, ГСУВ) рассмотрена в [8]. Данные о содержании и составе ОУВ углей от бурых до антрацита позволяют более аргументированно рассмотреть роль ОУВ углей в развитии процессов возгорания и взрывов в угольных шахтах.

Потенциальная опасность ОУВ углей, обогащенных ТУ, определяется следующим.

Температура воспламенения и концентрационные пределы взрываемости ТУ ниже, а теплотворная способность выше, чем у СН₄. На рис. 6 представлены данные о температуре воспламенения и теплоте сгорания основных УВ в ОУВ углей [8].

Основная потенциальная опасность ОУВ состоит в повышении их концентрации при выделении дополнительного тепла в замкнутом пространстве горной выработки. Тепловое воздействие на уголь происходит во многих процессах его отделения от массива и способствует выделению ОУВ из углей в пространство шахты и созданию ПВО ситуаций. Выделение ОУВ может происходить при измельчении и повышении температуры угля в процессе его добычи при контакте рабочего органа угольного комбайна с угольным пластом. Нами проведено моделирование процессов, протекающих при добыче угля. Результаты моделирования были частично рассмотрены в [7].

Моделирование заключалось в исследовании состава УВ, выделяющихся при сверлении угля. Полагаем, что сверление угля в определённой мере моделирует процессы, протекающие при добыче угля. В обоих случаях происходит измельчение и нагревание угля при контакте режущего инструмента (сверла или рабочего органа комбайна) с углем.

Объектом исследования являлся уголь марки Ж (Кузбасс, шахта Осинниковская, пласт Е-5). В угле высверливали ряд отверстий диаметром 5–8 мм, глубиной до 10 см, при скоростях вращения сверла 480–960 об/мин. шприцем отбиралась проба газа из отверстия и измерялась температура сверла. Температура сверла варьировала в пределах 40–65 °С, среднее 52 °С. Реальная температура на контакте сверла с углем, видимо, выше измеренной, поскольку температура сверла определялась после сверления и выемки сверла из отверстия. Кроме того, в исследуемом угле анализировался состав ОУВ при температурах 80 и 200 °С. Результаты представлены на рис. 6.

Состав УВ, выделяющихся при сверлении и в процессе нагревания угля близок: УВ обогащены ТУ, особенно пропаном и бутаном.

При сверлении происходило измельчение и нагревания угля. Трудно оценить раздельное воздействие этих процессов на выделение УВ. С этой целью был изучен состав ОУВ угля Е-5 в различных по размеру фракциях при нагревании до 200 °С (рис. 7). Состав ОУВ различных фракций угля очень близок, а количество бутана практически одинаковое во всех исследованных фракциях. Полученные данные по составу ОУВ в различных фракциях угля позволяют предположить следующее: основным фактором выделения УВ при воздействии на уголь режущим инструментом является температура.

Проведённые исследования позволяют высказать предположение, что ОУВ, выделяющиеся из угля в процессе его добычи, могут являться одним из «пусковых» факторов в развитии процессов возгорания и взрывов в угольных шахтах. Но для создания ПВО ситуаций выделяющиеся ОУВ должны

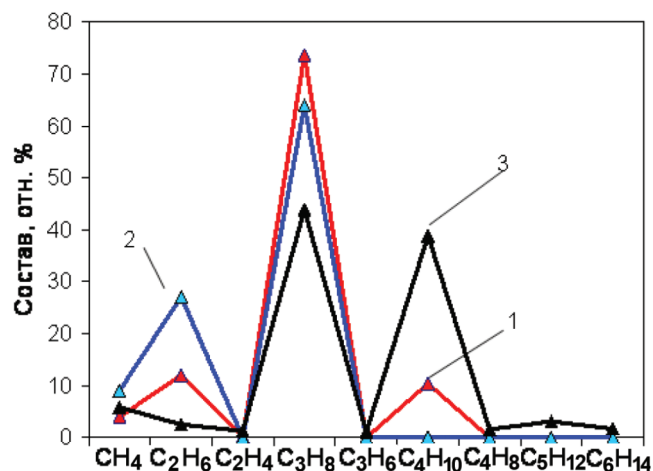


Рис. 6. Состав УВ, выделяющихся при сверлении и нагревании угля пласта Е-5: 1 – сверление (температура 52 °С); 2 – нагревание (температура 80 °С); 3 – нагревание (температура 200 °С)

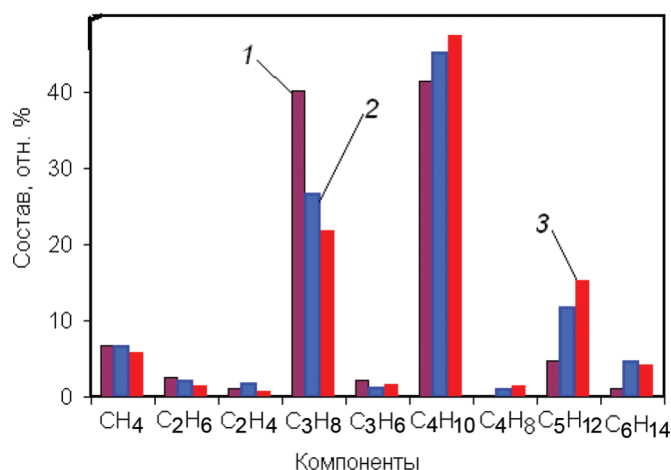


Рис. 7. Состав ОУВ отдельных фракций угля пласта Е-5: 1 – 0,25–0,5 мм; 2 – 0,25–0,1; 3 – менее 0,07 мм

воспламениться и выделить достаточное количество тепла для развития процессов горения и взрывов.

В табл. 4 приведены некоторые теплофизические параметры основных углеводородных компонентов ОУВ углей и прогнозные оценки количества тепла, образующегося при сгорании ОУВ углей марок Б (средние для всех подгрупп), Д и Ж. Присутствие ТУ снижает температуру воспламенения и концентрационные параметры взрываемости и повышает количество выделяемого тепла при сгорании ОУВ.

Из приведенных примеров наибольшую потенциальную пожаровзрывоопасность представляли ОУВ угля Е-5, в которых высокая доля ТУ и наибольшая теплота сгорания ОУВ. Если бы ОУВ угля пласта Е-5 (15 см³/кг) были представлены метаном, то теплота их сгорания составила бы 600 Дж, что в 2,5 раза ниже теплоты сгорания компонентов ОУВ угля пласта Е-5.

Таблица 4

**Сопоставление количества и состава ОУВ некоторых марок угля
с их теплофизическими параметрами**

Проба, параметры	CH ₄	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	C ₅ H ₁₂	C ₆ H ₁₄	CH ₄ —C ₆ H ₁₄
Бурый уголь, среднее, см ³ /кг	2,7	0,5	0,3	0,1	0,1	4
Кузбасс, шахта Грамотейнская, Пласт Сычевский марка Д, см ³ /кг	1,7	1,2	2,9	3	1,3	10
Кузбасс, шахта Осинниковская, пласт Е-5, марка Ж, см ³ /кг	2,3	7,0	4,7	0,2	0,3	15
Температура самовоспламенения, °С	595	470	365	285	240	
Концентрация с наибольшей опасностью воспламенения, об. %	8,2	4,2	3,2	2,6	2,5	
Пределы взрываемости, об. %	4,4—16,5	1,7—10,9	1,4—9,3	1,4—8	1—8,1	
Теплота сгорания, Дж/см ³	39,8	101,2	133,4	169,3	187,4	
Теплота сгорания ОУВ, извлеченных из 1 кг угля, Дж/кг:						
бурый уголь, ср.	107	51	40	2	19	219
шахта Грамотейнская, марка Д,	68	122	386	507	243	1326
пласт Е-5, марка Ж	92	707	625	34	57	1515

Приведённые прогнозные оценки роли ОУВ в повышении ПВО в угольных шахтах показывают, что выделяемые при добыче угля УВ газы могут быть пусковым механизмом для развития ПВО ситуаций в угольных шахтах.

Таким образом, ТУ являются основными компонентами ОУВ ископаемых углей. Исключением являются угли марок ПА и А, в ОУВ которых преобладает метан. Присутствие повышенных и высо-

ких содержаний ТУ в ОУВ углей повышает потенциальную ПВО в угольных шахтах.

Необходимо отметить, что в остаточных газах углей присутствуют и другие компоненты, которые могут неоднозначно влиять на развитие ПВО в шахтах. Детальные исследования УВ и не углеводородных компонентов (Н₂, СО₂, N₂ и др.) в остаточных газах углей позволят разработать методы снижения ПВО в угольных шахтах.

ЛИТЕРАТУРА

- Алексеев Ф.А., Войтов Г.И., Лебедев В.С., Несмелова З.Н. Метан. М.: Недра, 1978. 310 с.
- Забурдяев Г.С. О предупреждении взрывов метано- и пылевоздушных смесей в угольных шахтах // Уголь. 2003. № 10. С. 36–41.
- Косенко Б.М., Левенштейн Л.М. О возможности образования промышленных месторождений за счет метаморфогенных газов угленосных толщ (на примере Восточно-Украинского нефтегазоносного бассейна) // Мат. по геологии Донецкого бассейна. Первая геологическая конференция памяти Л.И. Лутугина (июль 1964). М.: Недра, 1968. С. 100–107.
- Лебедев В.С., Стукалова И.Е. Содержание и состав глубокосорбированных углеводородов в гумусовых углях Донецкого угольного бассейна // Известия вузов. Геология и разведка. 2013. № 2. С. 79–82.
- Лебедев В.С., Скопинцева О.В., Савельев Д.И. Особенности состава углеводородов остаточных газов бурых углей // Известия вузов. Геология и разведка. 2014. № 4. С. 49–52.
- Лебедев В.С., Скопинцева О.В., Савельев Д.И. Глубокосорбированные углеводороды в каменных углях Кузнецкого бассейна // ГИАБ. 2013. № 5. М. Изд-во МГГУ. С. 244–250.
- Лебедев В.С., Скопинцева О.В., Савельев Д.И. Исследование остаточной газоносности угля при тепловом воздействии // Горный журнал. 2014. № 5. С. 20–21.
- Лебедев В.С., Иванов Д.В., Скопинцева О.В., Савельев Д.И. Оценка роли глубокосорбированных углеводородов угольных пластов в возникновении пожароопасных ситуаций в угольных шахтах // Известия вузов. Геология и разведка. 2010. № 2. С. 86–88.
- Мамаев В.И., Ибраев Ж.А., Лигай В.А. и др. Предупреждение взрывов пылеметановоздушных смесей. М.: Недра, 1990. 159 с.
- Нецепляев М.И., Любимова А.И., Петрухин П.М. и др. Борьба со взрывами угольной пыли в шахтах. М.: Недра, 1992. 298 с.
- Радченко С.А. Экспресс-прогноз выбросоопасности и динамики десорбции угля // ГИАБ, специальный выпуск № 14, «Безопасность». С. 300–309.
- Рогозина Е.А. Состав, зональность и масштабы генерации газов при катагенезе органического вещества гумусовых углей // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2008. № 3. С. 20–38.
- Розанцев Е.С., Таран Н.П. Исследование состава углеводородных газов пластов Кузбасса с целью возможности прогнозирования их выбросоопасности // Повышение безопасности труда при добыче угля. М.: Изд-во «Мир горной книги», 1990. С. 88–95.
- Старобинец И.С., Федорова Г.С., Тихомирова Е.С. Экранирующая и проводящая роль угленосных отложений при миграции углеводородных газов // Геология нефти и газа. 1983. № 7. С. 25–31.
- Трофимов Л.А. О тяжелых углеводородах в угольных газах Восточной части Донбасса // Геологическое строение Ростовской и сопредельных областей. Ростов: Изд-во Ростовского университета, 1972. С. 71–74.
- Barker-Read G.R., Radchenko S.A. Gas emission from coal and associated strata: interpretation of quantity sorption-kinetic characteristics // Viewing Science and Technology. 1989. No 8. P. 263–284.