

ОСОБЕННОСТИ ГАЗООБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ НАГРЕВЕ В УГЛЯХ, СКЛОННЫХ К САМОВОЗГОРАНИЮ

А.И. Докучаева,

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова Российской академии наук, г. Москва, Россия

Аннотация. В работе представлено экспериментальное обоснование применения метода термогравиметрического анализа как самостоятельного метода в оценке склонности углей к самовозгоранию. Установлено, что образцы углей, склонных к самовозгоранию, демонстрируют большую химическую активность по поглощению кислорода при нагревании в термогравиметре, чем образцы углей, не склонных к самовозгоранию, что определяется сравнительным анализом прироста массы образцов при нагреве на участке температур 100–350 °С. Доказано, что величина максимального прироста массы на стадии низкотемпературного окисления является более информативным критерием разделения углей по склонности к самовозгоранию методом термогравиметрического анализа по сравнению с температурой самонагрева и воспламенения. Результаты исследований могут быть полезными при определении склонности к самовозгоранию разрабатываемых пластов углей.

Ключевые слова: самовозгорание угля, эндогенный пожар, низкотемпературное окисление, показатель самовозгорания, химическая активность углей, термогравиметрический анализ.

FEATURES OF GAS EXCHANGE PROCESSES DURING HEATING IN COALS PRONE TO SPONTANEOUS COMBUSTION

A.I. Dokuchaeva,

Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Abstract: The paper presents an experimental justification for the use of the thermogravimetric analysis method as an independent method in assessing the propensity of coals to spontaneous combustion. It has been established that samples of coals prone to spontaneous combustion demonstrate greater chemical activity in oxygen absorption when heated in a thermogravimeter than samples of coals not prone to spontaneous combustion, which is determined by a comparative analysis of the mass gain of samples when heated at a temperature range of 100–350 °C. It has been proven that the value of the maximum mass gain at the stage of low-temperature oxidation is a more informative criterion for the separation of coals according to the propensity to spontaneous combustion by method thermogravimetric analysis than the self-heating temperatures and ignition. The results of the research can be useful in determining the propensity for spontaneous combustion of coal seams being developed.

Keywords: spontaneous combustion of coal, endogenous fire, low-temperature oxidation, spontaneous combustion index, chemical activity of coals, thermogravimetric analysis.

Подземная разработка угольных пластов осложняется опасностью эндогенных пожаров, вызванных самовозгоранием угля. Учитывая мировую статистику угольных пожаров [1–7], проблема надежного прогноза и предотвращения этого явления остается открытой. Влияние многочисленных факторов на самовозгорание углей и сложность точного их определения затрудняют прогноз пожарной опасности при добыче и хранении угля. Принять своевременные меры по предупреждению возгорания угля можно, если знать склонность угля к самонагреванию. Для этого необходимо разработать достоверный метод ускоренного определения склонности углей к самовозгоранию.

При оценке склонности углей к самовозгоранию широко применяются тепловые методы исследования [8–12], сущность которых заключается в определении температуры нагревания или воспламенения образца угля. Однако результа-

ты бывают противоречивыми или не достаточными для заключения о склонности исследуемых углей к самовозгоранию. Автор статьи предположил, что сама температура не является достоверным критерием для разделения углей на группы по склонности к самовозгоранию. При этом температура способна указать на реакцию, которая происходит в угольном веществе на этапе анализа.

Окисление углей при низких температурах служит причиной самонагрева и дальнейшего самовозгорания горючих ископаемых [13–16]. Для изучения механизма самопроизвольного нагревания при оценке склонности углей к возгоранию широкую популярность приобретает термогравиметрический метод анализа (ТГА). [17–21]. В отличие от многих тепловых методов [8], ТГА позволяет учитывать изменение массы образца угля, в том числе, за счет сорбции кислорода. По изменению массы образцов можно просле-

дить динамику процесса поглощения кислорода воздуха углем, а также судить о явлениях, происходящих в процессе трансформации угольного вещества с ростом температуры. В зависимости от типа угля увеличение массы с ростом температуры можно интерпретировать как сорбцию кислорода его поверхностью с образованием угольно-кислородных комплексов, что может быть использовано при оценке склонности угля к самовозгоранию [13].

Цель исследований: Исследований особенностей газообменных процессов в склонных к самовозгоранию углях при нагреве.

Методы и материалы исследований

Для изучения газообменных процессов между углем и атмосферным кислородом на стадии низкотемпературного окисления угля, а также для отличия в поведении углей, склонных и не склонных к самовозгоранию, был выбран метод ТГА. Были использованы образцы Печорского месторождения каменных углей, не склонных (№ 1-3) и склонных (№ 4-7) к самовозгоранию (табл. 1). Для подбора оптимального режима анализа методом ТГА исследования проводились при скоростях нагрева 3, 5 и 10 °C/мин. Выбор скоростей нагрева прибора обоснован литературным анализом работ N.K. Mohalik, E. Lester, C. Avila и B.H. Маринова [17-21] по изучению термогравиметрических параметров, описывающих поведение образцов углей при нагреве, а также режимы нагрева. Эксперимент предполагал нагрев до 1000 °C в среде с кислородом.

Суть метода заключается в определении температуры воспламенения образца и предполагает нагрев в окислительной и инертной средах до высоких температур (~1000 °C). В качестве термогравиметрических показателей оценки склонности углей к самовозгоранию используют температуры самонагрева ($T_{нер}$) и воспламенения ($T_{кр}$) исследуемых образцов, также определяют температуру начала реакции сорбции кислорода образцами ($T_{нач}$) и прирост массы (M). Однако главным недостатком является то, что определяемые температуры ($T_{нер}$ и $T_{кр}$) зависят от изначально заданной скорости нагрева и смещаются в сторону больших значений температур вместе с увеличением скорости нагрева камеры термогравиметрического анализатора [9, 17, 19]. Результаты часто бывают противоречивыми за счет температурных эффектов, появляющихся при высоких температурах. Также при повышении температуры в камере прибора на определенном этапе начинается «вынужденный» разогрев образцов угля, отличающийся от процесса самонагрева угля в естественных условиях.

Увеличение массы угля в диапазоне температур, превышающих температуру испарения влаги (~100 °C), но ниже температуры активного разложения угля (~ 400 °C), объясняется сорбцией кислорода углем [17]. Исходя из этого, достаточным будет рассмотреть газообменные процессы между образцами угля и кислородом в низкотемпературной области окисления. Для количественной оценки химической активности угля по кислороду нами была использована величина максимального прироста массы M .

Результаты исследований

Обработаны зависимости изменения массы образцов углей при нагреве в камере термогравиметрического анализатора от температуры. По ТГ-кривым рассчитаны температуры начала реакции сорбции кислорода ($T_{нач}$) и макси-

мального прироста массы (T_M) (табл. 1) и величина максимального прироста массы M (табл. 2) при скоростях нагрева 3 °C/мин, 5 °C/мин и 10 °C/мин. Определены температуры $T_{нер}$ и $T_{кр}$ (табл. 3) по скорости изменения массы исследуемых образцов. По ТГ-кривой идентифицирована стадия сорбции кислорода, а также обнаружены различия в поведении образцов углей, склонных и не склонных к самовозгоранию.

Обсуждение результатов исследований

Критерий температуры в качестве показателя самовозгораемости угля основан на установленном утверждении о том, что склонным к активному окислению кислородом углям соответствует более низкие температуры начала реакции сорбции кислорода ($T_{нач}$) и температуры при максимальном приросте массы (T_M), чем углям, имеющим низкую способность окисляться [17]. Отличие в поведении склонных и не склонных углей к самовозгоранию по температурам $T_{нач}$ и T_M представлены в табл. 1.

Таблица 1 / Table 1

Значения температур $T_{нач}$ и T_M на ТГ-зависимостях / The temperatures values T_{in} and T_M on TG-dependences.

Образец №/ Sample No	Скорость нагрева, °C/мин/Heating speed, °C/min					
	3		5		10	
	$T_{нач}, °C / T_{in}, °C$	$T_M, °C / T_M, °C$	$T_{нач}, °C / T_{in}, °C$	$T_M, °C / T_M, °C$	$T_{нач}, °C / T_{in}, °C$	$T_M, °C / T_M, °C$
1	180	267	192	256	202	257
2	176	269	194	241	206	261
3	183	277	212	260	210	238
4	149	219	167	245	191	247
5	139	209	169	232	168	251
6	147	216	155	234	164	275
7	145	267	157	269	168	252

Из табл. 1 получили, что T_M в качестве критерия разделения образцов углей по склонности к самовозгоранию не подходит, так как при любых скоростях нагрева встречаются противоречивые значения для исследуемых образцов. Температуры $T_{нач}$ недостаточно для заключения о склонности углей к самовозгоранию, так как при повышенных скоростях нагрева не наблюдается четкого разграничения между температурами склонных и не склонных к самовозгоранию образцов углей.

Максимальный прирост массы M на стадии низкотемпературного окисления определяется по участку термогравиметрической зависимости (ТГ-кривой), показывающему увеличение массы образца после завершения процесса испарения влаги в точке температуры начала реакции ($T_{нач}$) до температуры максимального прироста массы (T_M), при которой начальная реакция заканчивается [17]. В наших экспериментах интервал температур, характеризующий процесс сорбции кислорода образцами, находится в диапазоне 100-350 °C в зависимости от скорости нагрева прибора, причем с увеличением скорости нагрева увеличиваются значения характерных температур (табл. 2).

Таблица 2 / Table 2

Максимальный прирост массы образцов в низкотемпературной зоне окисления / Maximum weight gain of samples in the low-temperature oxidation zone.

Образец №/ Sample No.	M(3), %	M(5), %	M(10), %
1	0.60	0.19	0.04
2	0.63	0.18	0.01
3	0.58	0.23	0.02
4	0.87	0.74	0.34
5	0.92	0.34	0.37
6	0.83	0.46	0.40
7	1.52	0.96	0.45

Из табл. 2 видно, что при рассматриваемых скоростях нагрева 3°C/мин, 5°C/мин, 10°C/мин образцы склонного к самовозгоранию угля демонстрируют большие значения сорбированного кислорода, чем образцы не склонного к самовозгоранию угля. Для образцов углей, склонных к самовозгоранию (№ 4-7), величина M при скоростях нагрева 3°C/мин, 5°C/мин и 10°C/мин соответственно равна или больше 1%, 0.6% и 0.4% от исходной массы образца. Для образцов углей, не склонных к самовозгоранию (№ 1-3), величина M не превышает значения 0.6% при скорости нагрева 3°C/мин, 0.2% при 5°C/мин и при скорости нагрева 10°C/мин составляет сотые доли процента. Величина максимального прироста массы является достаточно показательной при разделении углей склонных и не склонных к самовозгоранию.

Распределение максимального прироста массы M в соответствии с характерной температурой $T_{нач}$ для каждого образца при скоростях нагрева 3°C/мин, 5°C/мин и 10°C/мин наглядно представлены на рис. 1-3. Были рассчитаны средние величины M для групп образцов углей, склонных и не склонных к самовозгоранию (на рис. 1-3 представлены красными точками в каждой группе образцов).

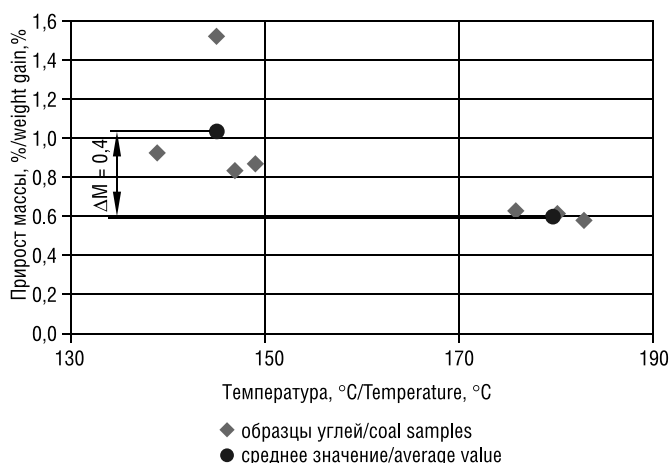


Рис. 1. Распределение величины прироста массы образцов M в зависимости от температуры начала реакции при скорости нагрева 3°C/мин / Fig. 1. Distribution of the mass gain of the samples depending on the reaction start temperature at a heating rate of 3°C/min.

Из рис. 1-3 получаем, что при скорости нагрева 3°C/мин для образцов № 4-7 средняя величина прироста массы соста-

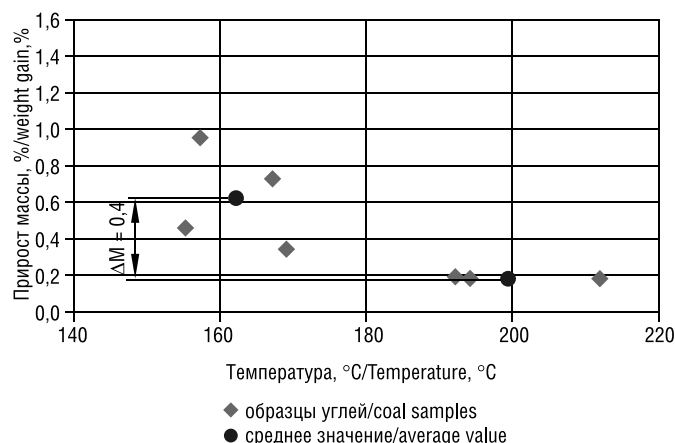


Рис. 2. Распределение величины прироста массы образцов M в зависимости от температуры начала реакции при скорости нагрева 5°C/мин / Fig. 2. Distribution of the mass gain of the samples depending on the reaction start temperature at a heating rate of 5°C/min.

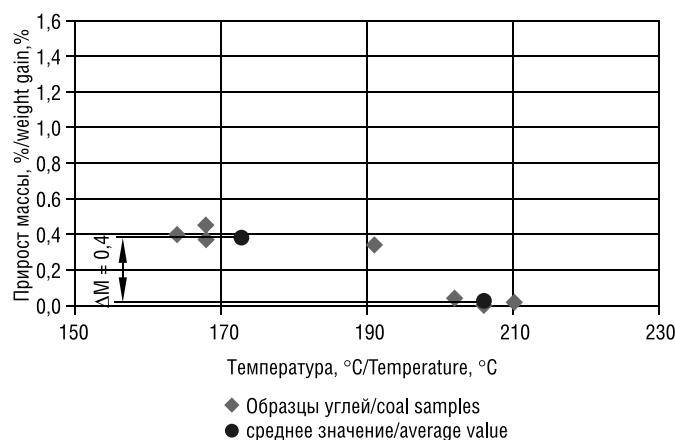


Рис. 3. Распределение величины прироста массы образцов M в зависимости от температуры начала реакции при скорости нагрева 10°C/мин / Fig. 3. Distribution of the mass gain of the samples depending on the reaction start temperature at a heating rate of 10°C/min.

вила 1% и средняя температура $T_{нач}$ 145°C. Средняя величина прироста массы среди образцов № 1-3 оказалась 0.6%, средняя температура $T_{нач}$ 180°C. Согласно рис. 1 разница средних масс (ΔM) в группе склонных и не склонных к самовозгоранию образцов углей равна 0.4%. При скорости нагрева 5°C/мин для образцов № 4-7 средняя величина прироста массы составила 0.6% и средняя температура $T_{нач}$ 162°C. Средняя величина прироста массы среди образцов № 1-3 оказалась 0.2%, средняя температура $T_{нач}$ 199°C. Согласно рис. 2 разница средних масс (ΔM) в группе склонных и не склонных к самовозгоранию образцов углей равна 0.4%. При скорости нагрева 10°C/мин для образцов № 4-7 средняя величина прироста массы составила 0.4% и средняя температура $T_{нач}$ 173°C. Средняя величина прироста массы среди образцов № 1-3 оказалась 0.02%, средняя температура $T_{нач}$ 206°C. Согласно рис. 3 разница средних масс (ΔM) в группе склонных и не склонных к самовозгоранию образцов углей также равна 0.4%. Из вышесказанного можно сделать вывод, что разница прироста масс для склонных и не склонных к самовозгоранию образцов не зависит от скорости нагрева и одинакова при любых скоростях нагрева камеры термогравиме-

тра. Также получили, что разница температур $T_{нач}$ для склонных и не склонных к самовозгоранию углей составляет 33°C, 37°C и 35°C соответственно при скоростях нагрева 3°C/мин, 5°C/мин и 10°C/мин.

Термогравиметрическими параметрами, характеризующими склонность углей к самовозгоранию, принято считать температуры самонагрева ($T_{нгр}$) и воспламенения ($T_{кр}$) исследуемых образцов [17]. Искомые величины представлены в табл. 3.

Таблица 3 / Table 3

Значения температур самонагрева ($T_{нгр}$) и воспламенения ($T_{кр}$) образцов углей / Values of self-heating temperatures (T_{sh}) and ignition temperatures (T_{ign}) of coal samples.

Образец №/ Sample No	Скорость нагрева, °C/мин/Heating speed, °C/min					
	3		5		10	
	$T_{нгр}, ^\circ\text{C}/$ $T_{sh}, ^\circ\text{C}$	$T_{кр}, ^\circ\text{C}/$ $T_{ign}, ^\circ\text{C}$	$T_{нгр}, ^\circ\text{C}/$ $T_{sh}, ^\circ\text{C}$	$T_{кр}, ^\circ\text{C}/$ $T_{ign}, ^\circ\text{C}$	$T_{нгр}, ^\circ\text{C}/$ $T_{sh}, ^\circ\text{C}$	$T_{кр}, ^\circ\text{C}/$ $T_{ign}, ^\circ\text{C}$
1	238	273	239	273	257	285
2	240	275	241	258	234	290
3	242	277	227	277	238	265
4	213	225	230	262	247	274
5	203	215	216	248	251	279
6	205	222	218	250	247	304
7	222	275	220	287	252	279

Из табл. 3 получаем, что при всех скоростях нагрева не образуется четкого разделения по температурам $T_{нгр}$ и $T_{кр}$ для образцов углей, склонных и не склонных к самовозгоранию, поэтому отнести их к какой-либо категории опасности по самовозгоранию трудно. По результатам анализа при любых скоростях нагрева камеры термогравиметра тем-

пература, соответствующая точке максимального прироста массы на термогравиметрической кривой (T_M), а также температуры $T_{нгр}$ и $T_{кр}$ не являются показательными в качестве критериев разделения углей по категориям склонности к самовозгоранию.

Заключение

При разработке каменноугольных месторождений подземным способом разница прироста массы угольного вещества при сорбции кислорода в пластах, склонных и не склонных к самовозгоранию при нагреве методом ТГА, является величиной постоянной и не зависит от скорости нагрева. Полученное выражение позволяет сделать вывод о том, что величина прироста массы при нагреве методом ТГА является значимым критерием для определения склонности углей к самовозгоранию.

Выводы

1. В работе представлены результаты исследования различий в поведении углей из пластов, склонных и не склонных к самовозгоранию Печорского каменноугольного бассейна, при использовании метода ТГА для определения их склонности к самовозгоранию.

2. Сравнительным анализом максимального прироста массы M образцов при нагреве на участке температур 100–350°C установлено, что образцы углей, склонных к самовозгоранию, демонстрируют большую химическую активность по поглощению кислорода при нагревании, чем образцы углей, не склонных к самовозгоранию. При любых скоростях нагрева камеры термогравиметра получено, что температуры $T_{нач}$, T_M , $T_{нгр}$ и $T_{кр}$ не являются показательными в качестве критериев разделения углей по категориям склонности к самовозгоранию. Величина максимального прироста массы M на стадии низкотемпературного окисления оказалась более информативным критерием разделения углей по склонности к самовозгоранию методом ТГА.

3. Результаты исследований могут быть полезными при разработке пластов углей, опасных по самовозгоранию. ■

ЛИТЕРАТУРА

- Портола В.А., Овчинников А.Е. Син С.А., Игишев В.Г. Анализ аварийности и пожароопасности угольных шахт - Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности, 2018, №4, С. 36–42.
- Завиркина Т.В. Анализ статистики эндогенных пожаров на угольных шахтах России - Научный вестник Московского государственного горного университета, 2014, №1, С. 30–36.
- Lu W, Cao Y.J., Tien J.C. «Method for prevention and control of spontaneous combustion of coal seam and its application in mining field». - International Journal of Mining Science and Technology, 2017, p. 839–846.
- Печук И.М. Эндогенные пожары в Донетском бассейне. М.: Углетехиздат, 1954, 240 с.
- Линденау Н.И. Происхождение, профилактика и тушение эндогенных пожаров в угольных шахтах. М.: Недра, 1977, 387 с.
- Голынская Ф.А., Смирнова О.С., Никонов Р.А. Прогноз самовозгорания углей угольного пласта 19 поля шахты «Распадская» Кузнецкого бассейна. - Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), 2016, №1, С. 281–287.
- Onifade M., Genc B. «A review of research on spontaneous combustion of coal». - International Journal of Mining Science and Technology, 2020, v.30, #3, p. 303–311.
- Mohalik N., Panigrahi D., Singh V. «Application of thermal analysis techniques to assess proneness of coal to spontaneous heating An overview». - Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 2009, v.98, #2, p. 507–519.
- Mohalik N.K., Lester E., Lowndes I.S. «Review of experimental methods to determine spontaneous combustion susceptibility of coal - Indian context». - International Journal of Mining, Reclamation and Environment, 2015, #5, p. 301–332.
- M. Onifade, B. Genc «A review of spontaneous combustion studies – South African context». - International Journal of Mining, Reclamation and Environment, 2019, v. 33, #8, p. 527–547.
- Суксова С.А. и др. Обзор методов идентификации процессов самовозгорания углей. - Вестник Евразийской науки, 2021, №1, <https://esj.today/PDF/19NZVN121.pdf> (доступ свободный).

12. Wang X. «Laboratory Experiment for Evaluating Characteristics of Spontaneous Combustion». - Spontaneous Combustion of Coal, 2019, p. 73-128.
13. Линденау Н.И., Маевская В.М., Вахрушева Е.С. и др. Каталог углей СССР, склонных к самовозгоранию. М.: Недра, 1982, 416 с.
14. Веселовский, В.С., Орлеанская Г.Л., Терпogosова Е.А. и др. Научные основы борьбы с самовозгоранием углей, М.: Наука. 1964, 52 с.
15. Эпштейн С.А. Методы прогноза склонности углей к окислению и самовозгоранию. - Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), 2008, №2, С. 211-216.
16. Лебедев К.С. Некоторые особенности процесса окисления каменных углей в зависимости от влажности воздуха. - Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности, 2010, С.94-98.
17. Mohalik N. K., Lester E. & Lowndes I. S. «Application of TG technique to determine spontaneous heating propensity of coals». - Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 2020, v.143, p. 185-201.
18. Zhang Y, et al. «Characteristics of mass, heat and gaseous products during coal spontaneous combustion using TG/DSC-FTIR technology». - Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 2018, v.131, p. 2963-2974.
19. Avila C., Wu T., Lester E. «Estimating the Spontaneous Combustion Potential of coals using thermogravimetric analysis». - Energy and fuels, 2014, v.28, p. 1766-1773.
20. Marinov V.N. «Self-ignition and mechanisms of interaction of coal with oxygen at low temperatures. 2. Changes in weight and thermal effects on gradual heating of coal in air in the range 20-300°C». - Fuel, 1977, v.56, #2, p. 158-164.
21. Marinov S.P., et al. «Combustion behaviour of some biodesulphurized coals assessed by TGA/DTA». - Thermochim Acta, 2010, v.497, #1-2, p. 46-51.

REFERENCES

1. Portola V.A., Ovchinnikov A.E. Sin S.A., Igishev V.G. «Analysis of accident and fire hazard of coal mines». - Bulletin of the Scientific Center for Safety of Work in the Coal Industry, 2018, No. 4, pp. 36-42.
2. Zavirkina T.V. «Analysis of statistics of endogenous fires in coal mines of Russia». - Scientific Bulletin of the Moscow State Mining University, 2014, No. 1, pp. 30-36.
3. Lu W, Cao Y.J., Tien J.C. «Method for prevention and control of spontaneous combustion of coal seam and its application in mining field». - International Journal of Mining Science and Technology, 2017, p. 839-846.
4. Pechuk I.M. Endogenous fires in the Donetsk basin. M.: Ugletekhizdat, 1954, 240 p.
5. Lindenau N.I. Origin, prevention and extinguishing of endogenous fires in coal mines. M.: Nedra, 1977, 387 p.
6. Golynskaya F.A., Smirnova O.S., Nikonov R.A. «Forecast of spontaneous combustion of coal from coal seam 19 of the field of the Raspadskaya mine of the Kuznetsk basin». - Mining Information and Analytical Bulletin (Scientific and Technical Journal), 2016, No. 1, pp. 281-287.
7. Onifade M., Genc B. «A review of research on spontaneous combustion of coal». - International Journal of Mining Science and Technology, 2020, v.30, #3, p. 303-311.
8. Mohalik N., Panigrahi D., Singh V. «Application of thermal analysis techniques to assess proneness of coal to spontaneous heating An overview». - Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 2009, v.98, #2, p. 507-519.
9. Mohalik N.K., Lester E., Lowndes I.S. «Review of experimental methods to determine spontaneous combustion susceptibility of coal – Indian context». - International Journal of Mining, Reclamation and Environment, 2015, #5, p. 301-332.
10. M. Onifade, B. Genc «A review of spontaneous combustion studies - South African context». - International Journal of Mining, Reclamation and Environment, 2019, v. 33, #8, p. 527-547.
11. Suksova S.A. et al. «Review of methods for identifying spontaneous combustion of coal». - The Eurasian Scientific Journal, [online], 2021, #1(13), available at: <https://esj.today/PDF/19NZVN121.pdf> (in Russian).
12. Wang X. «Laboratory Experiment for Evaluating Characteristics of Spontaneous Combustion». - Spontaneous Combustion of Coal, 2019, p. 73-128.
13. Lindenau N.I., Mayevskaya V.M., Vakhrusheva E.S. et al. Catalog of coals of the USSR, prone to spontaneous combustion. M.: Nedra, 1982, 416 p.
14. Veselovsky, V.S., Orleanskaya G.L., Terpogosova E.A. et al. Scientific foundations of the fight against spontaneous combustion of coals, M.: Nauka, 1964, 52 p.
15. Epstein S.A. «Methods for predicting the propensity of coals to oxidation and spontaneous combustion». - Mining Information and Analytical Bulletin (Scientific and Technical Journal), 2008, #2, p. 211-216.
16. Lebedev K.S. «Some features of the process of oxidation of coal depending on air humidity». - Bulletin of the Scientific Center for the Safety of Work in the Coal Industry, 2010, p.94-98.
17. Mohalik N. K., Lester E. & Lowndes I. S. «Application of TG technique to determine spontaneous heating propensity of coals». - Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 2020, v.143, p. 185-201.
18. Zhang Y, et al. «Characteristics of mass, heat and gaseous products during coal spontaneous combustion using TG/DSC-FTIR technology». - Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 2018, v.131, p. 2963-2974.
19. Avila C., Wu T., Lester E. «Estimating the Spontaneous Combustion Potential of coals using thermogravimetric analysis». - Energy and fuels, 2014, v.28, p. 1766-1773.
20. Marinov V.N. «Self-ignition and mechanisms of interaction of coal with oxygen at low temperatures. 2. Changes in weight and thermal effects on gradual heating of coal in air in the range 20-300°C». - Fuel, 1977, v.56, #2, p. 158-164.
21. Marinov S.P., et al. «Combustion behaviour of some biodesulphurized coals assessed by TGA/DTA». - Thermochim Acta, 2010, v.497, #1-2, p. 46-51.

БЛАГОДАРНОСТИ /ACKNOWLEDGMENTS: Выражаю благодарность своему научному руководителю д.т.н. Малинниковой Ольге Николаевне за содействие при планировании исследования и рекомендации по оформлению статьи, Долговой Марии Олеговне за оказанную помощь при проведении данного исследования. Особую признательность выражаю главному редактору журнала «Маркшейдерия и Недропользование» д.т.н. Дмитраку Юрию Витальевичу за ценные советы при подготовке статьи.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ



Докучаева Анастасия Игоревна:
аспирант,
отдела Центра проблем метана и газодинамических
явлений угольных и рудных месторождений,
ИПКОН РАН,
г. Москва, Россия,
e-mail: ana-anastasia2015@yandex.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Dokuchaeva Anastasia Igorevna:
Postgraduate,
Center for Problems of Methane and Gas Dynamic
phenomena of Coal and Ore Deposits,
Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral
Resources RAS,
Moscow, Russia,
e-mail: ana-anastasia2015@yandex.ru



РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ НЕФТИ И ГАЗА ИМЕНИ И.М. ГУБКИНА

Информируем Вас

Свою непосредственную историю Губкинский университет ведет от нефтяного факультета Московской Горной Академии, созданной по Декрету ВСНХ от 4 сентября 1918 г. В 1920 г. на должность профессора Академии был принят Иван Михайлович Губкин, а в 1922 г. он стал ее ректором. За 20-е гг. им было приложено много сил для начала формирования в стенах Академии высшего нефтяного образования.

В конце 20-х гг., когда страна вступила в период форсированной индустриализации, возникла острая потребность нефтяной промышленности в квалифицированных кадрах. В связи с этим 17 апреля 1930 г. Президиумом ВСНХ было принято решение расформировать Московскую Горную Академию имени т. Сталина и на ее основе создать шесть высших технических учебных заведений, в том числе – Московский нефтяной институт. Учитывая огромные заслуги академика Губкина в деле организации высшей школы по подготовке кадров для нефтяной промышленности, институту было присвоено имя Ивана Михайловича Губкина, а сам он был назначен первым его директором.

Факультеты:

- ◆ Факультет геологии и геофизики нефти и газа,
- ◆ Факультет разработки нефтяных и газовых месторождений,
- ◆ Факультет проектирования, сооружения и эксплуатации систем трубопроводного транспорта,
- ◆ Факультет инженерной механики,
- ◆ Факультет химической технологии и экологии, и др.

Контакты : 119991, г. Москва, проспект Ленинский, дом 65, корпус 1
+7 (499) 507-88-88
com@gubkin.ru



WWW.N-GN.RU