

Голынская Ф.А. (НИТУ «МИСиС»), Смирнова О.С.
(МГУ им. М.В. Ломоносова)

**ПРОГНОЗ САМОВОЗГОРАЕМОСТИ БУРЫХ УГЛЕЙ
КАНСКО-АЧИНСКОГО БАСЕЙНА МЕТОДОМ
МНОГОМЕРНОЙ КЛАССИФИКАЦИИ ПО ЭТАЛОН-
НЫМ ТОЧКАМ НА ПРИМЕРЕ УГОЛЬНОГО ПЛАСТА
«БЕРЕЗОВСКИЙ»**

*В основе разработанной авторами методики прогноза самовозгорания углей лежит ранговая модель данных и идея, состоящая в классификации этих данных по «близости» к эталонным точкам. В ходе изучения данных геологоразведки пласта «Березовский» установлены параметры геологических факторов самовозгорания углей. Переход от исходных данных к ранговой шкале осуществлялся с использованием граничных значений уровней опасности. Полученные данные использованы при построении карты прогноза самовозгорания углей исследуемого пласта с помощью программы ArcMap 10.2. **Ключевые слова:** самовозгорание углей, геологические факторы, ранговая модель, эталонные группы, нормативы, эталонные точки-концентраторы, степень опасности самовозгорания, карта прогноза самовозгорания углей.*

Golynskaya F.A. (NUST MISIS), Smirnova O.S. (Lomonosov MSU)

FORECAST OF SMOOSHIEST OF BROWN COAL
KANSK-ACHINSK BASIN BY THE METHOD
OF MULTIDIMENSIONAL CLASSIFICATION
REFERENCE POINTS FOR EXAMPLE THE COAL
SEAM «BEREZOVSKY»

*The basis of developed by authors method of forecasting of spontaneous combustion of coal is based on ranking the data model and the idea is to classify these data on «close» to the reference points. During data exploration geological exploration reservoir Berезovskiy set of geological factors of spontaneous combustion of coal. The transition from the initial data to the rank scale was carried out using the boundary values of the hazard levels. These data were used to construct maps of the forecast of spontaneous combustion of coal seam investigated using the program ArcMap 10.2. **Keywords:** spontaneous combustion of coals, geological factors, ranking model, the reference group, the standards, the reference point of the hub, the degree of danger of spontaneous combustion, map of forecast of spontaneous combustion of coal.*

Длительные и разносторонние исследования самовозгорания углей показали, что наиболее опасны по самовозгоранию бурые угли. В этой связи задачей представленных в настоящей статье исследований является установление геологических факторов, приводящих к самовозгоранию бурых углей и перспектив прогноза самовозгорания этих углей в естественном залегании. Исследования проводились на разрезе «Березовский I» Березовского месторождения Канско-

Ачинского бассейна, на котором были отмечены многочисленные факты самовозгорания углей.

Преимущества канско-ачинских углей — значительные запасы разведанных площадей, возможности добычи угля открытым способом, в их низкой зольности (A^d 8–12 %), низкой сернистости (S^d 0,3–0,6 %) и высоком содержании тугоплавкой окиси кальция (CaO от 26 до 42 %). Угли месторождения бурые, марки Б2, гумусовые. Вскрыша (кровля) — переслаивание песчано-алевритовых отложений, аргиллитов и мезозойских углей, а также рыхлые четвертичные суглинки, супеси, глины и песчано-гравийные смеси [1].

Исследуемый угольный пласт «Березовский» является верхним продуктивным горизонтом разреза «Березовский I». Мощность пласта изменяется от 15 до 70 м и имеет здесь наиболее выдержанную мощность и простое строение. Существенным осложняющим фактором является *склонность углей к самовозгоранию*. Об этом свидетельствует тот факт, что часть пласта «Березовский» выгорела — площадь «горельников» составляет 2,6 км² [4]. Основные параметры угольного пласта «Березовский» и качества его углей представлены в [таблице 1](#).

Авторами была разработана оригинальная методика прогноза самовозгорания углей, в основе которой лежит *ранговая модель* и идея, состоящая в классификации данных по «близости» к эталонным группам наблюдений [5]. В этой методике были применены результаты анализа статистических данных с помощью пакета STATISTICA 6.1. При использовании нормативов определения уровней опасности факторов (всего 13) осуществляется переход от исходных данных к ранговой шкале, который осуществлялся с использованием *нормативов* (граничных значений) уровней опасности самовозгорания: 1 — низкий, 2 — средний, 3 — высокий. При этом исходные данные по конкретному шахтному полю (месторождению) могут содержать не все факторы. В этом случае в ранговой шкале данные заменяются нулями. Это позволяет при необходимости классифицировать точки наблюдений не только для конкретного месторождения, но и произвести классификацию углей исследуемого угольного бассейна с учетом полного набора факторов. Данные в преобразованной ранговой [таблице](#) разбиты на группы, факторам каждой группы приписан одинаковый вес — коэффициент тем более высокий, чем больше их значимость для формирования общего уровня опасности. Нулевой вес позволяет игнорировать фактор при расчетах (например, в случае отсутствия данных). Классификация точек 13-мерного пространства рангов осуществляется по близости (минимуму расстояния) к трем эталонным точкам-концентраторам, являющимся центрами тяжести эталонных групп, составленных из «типичных представителей» мало-, средне- и высокоопасных рангов факторов самовозгорания углей. Задача состояла в том, чтобы выбрать меру близости, весовые коэффициенты значимости и 3 точки-концентратора. Таким образом, в созданной модели, имеющей большое число параметров, качест-

во классификации зависит от подбора этих параметров. Некоторые из них могут быть вычислены, другие определяются в ходе компьютерного эксперимента.

В настоящее время разработанная методика применяется для составления прогноза самовозгорания углей Кузнецкого (ш. «Распадская»), Печорского (ш. «Воргашорская»), Подмосквовного (ш. «Бельцевская») и других бассейнов.

Анализ данных геологоразведки (параметров угольного пласта и качества углей) пласта «Березовский»

позволил установить геологические факторы самовозгорания углей, ранжировать их параметры по степени опасности возникновения самовозгорания и определить граничные значения их параметров (табл. 2). Помимо низкой степени углефикации, однозначно указывают на опасность самовозгорания березовских углей увеличенная мощность пласта (от 51,2 до 71,5 м) и влажность (W^a от 5,4 до 12,4 %). Факторы глубины залегания угольного пласта (130,2 м и более), его строения (угольных пачек менее трех), угол наклона

Таблица 1

Параметры и качество углей угольного пласта «Березовский» разреза «Березовский-1» Канско-Ачинского бассейна*

Разрез, участок	Наименование пласта	Мощность угольного пласта, м	Глубина залегания угольного пласта, м	Строение угольного пласта (количество угольных пачек)	Вмещающие породы (породы кровли)	Угол наклона, град.	Тектоническая нарушенность**, км/км ²	Карстовая нарушенность, d_j ***	Влажность, W_n , %	Зольность, A^c , %	Сера общая, S^{d_1} , %	Выход летучих веществ, V^{dat} , %	Микрокомпоненты	
													группы гуминита, H , %	Группы инертинита, J , %
Березовский-1	Березовский	15–70 50	10–250	0 редко 1–3	Песчано-алевритовые породы, аргиллиты	2–3°	—	—	25,3–54,2 40,1	5,4–12,7 7,6	0,1–1,2 0,65	36–56 49	65–99 75,8	18,3–27,9 22,4

Примечание

* В числителе – от – до, в знаменателе – среднее значение

** Тектоническая нарушенность оценивалась определением степени тектонической нарушенности – отношения суммарной длины (протяженности) тектонических нарушений к общей площади месторождения или шахтного поля, измеряемого в км/км²

*** Карстовая нарушенность оценивалась определением показателя закарстованности d_j – отношения суммарной площади карстово-нарушенных участков к общей площади месторождения или шахтного поля

Таблица 2

Геологические факторы самовозгорания бурых углей пласта «Березовский» Канско-Ачинского бассейна

Уровень опасности самовозгораемости углей	Мощность, м	Глубина залегания, м	Строение (кол-во угольных пачек)	Угол наклона, град	Степень тектонической нарушенности, км/км ²	Карстовая нарушенность, d_j	Влажность, W^a , %	Зольность, A^c , %	Метаносось, м ³ /т	Сернистость, S^{d_1} , %	Выход летучих веществ V^{dat} , %	Содержание микрокомпонентов группы	
												гуминита, H , %	инертинита, J , %
Низкий	<3,0	>100,0	<2	<20	<2	—	<5,0	>20,0	—	<1,5	>30,0	>70,0	< 5,0
Средний	3,0–15,0	40,0–100,0	2–3	20–30	2–4	—	>10,0	10,0–20,0	—	1,5–2,5	8,0–30,0	50,0–70,0	5,0–15,0
Высокий	>15,0	<40,0	>3	>30	>4	—	5,0–10,0	< 10,0	—	>2,5	<8,0	<50,0	> 15,0

пласта (2–3°), S_t^d (0,0–1,2 %), выход летучих веществ (V^{daf} в среднем 49 %) находятся на уровне неопасных по самовозгоранию.

Анализ данных разведочных скважин и исследования очагов самовозгорания угольного пласта «Березовский» указывают на существенную роль петрографического состава углей при дифференциации этих углей по степени опасности самовозгорания. Влияние мацералов углей на их самовозгорание подтверждено проводимыми в разные годы многочисленными исследованиями в большинстве угольных бассейнов страны и в зарубежье (А.А. Скочинский, В.М. Огиевский, 1954; Г.Д. Шишков, 1966; Г.Н. Крикунов, 1970; В.С. Веселовский и др., 1975; Л.Я. Кизильштейн, В.А. Коссинский, 1977; Н.И. Линденау, В.М. Маевская и др., 1977; И.В. Еремин и др., 1980; Ф.А. Голынская, 2011; Э. Штах, М.-Т. Маковски, М. Тайхмюллер и др., 1978; Mahendra P. Singh, Chandra D. and Prasad Y.V.S., 1986; С. Avila, T. Wu, E. Lester, 2014). Было установлено, что микрокомпоненты группы гуминита, как наименее устойчивые к окислению, при значительном их содержании в углях и хорошей сохранности клеточной (пористой) структуры, имеют перво-

очередное значение в процессе самовозгорания углей [6]. Инертинит является химически наименее активной частью углей по отношению к кислороду, но увеличивает химическую активность угля вследствие того, что делает его более пористым и тем самым создает пути для проникновения кислорода внутрь угольного массива. Поэтому повышенное содержание инертинита, как носителя дополнительного количества кислорода, «провоцирует возгорание угля при наличии даже небольшого количества катализатора (сульфидов железа — Ф.А. Голынская) и активной разновидности витринита» [2]. В границах разреза «Березовский I» опасные по самовозгоранию значения микрокомпонентов групп гуминита и инертинита отмечены, например, в скв. 981 (V_t — 81,2 %, I — 15,4 %), 1005 (V_t — 78,8 %, I — 18,0 %), 1660 (V_t — 82,3 %, I — 15,8 %) и др.

Переход от исходных данных угольного пласта «Березовский», полученных в результате геологоразведочных работ, к ранговой шкале показан в таблице 3.

Данные о степени опасности самовозгорания углей в каждой точке наблюдений (скважине), полученные в результате проведенных расчетов, были использова-

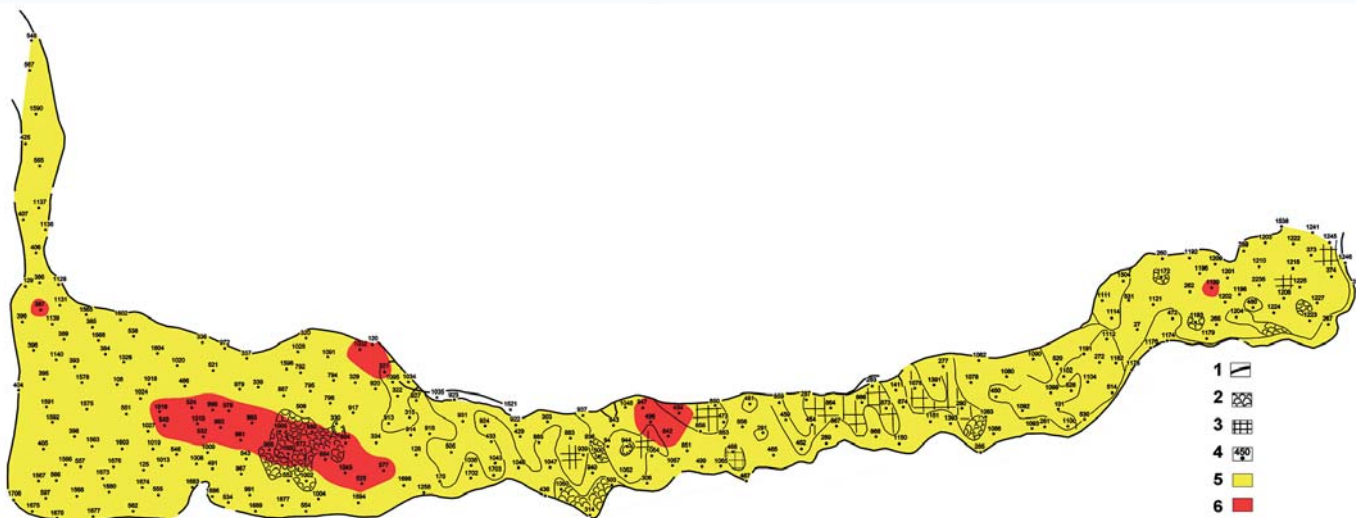
Таблица 3
Таблица рангов самовозгорания углей угольного пласта «Березовский» разреза «Березовский I» (КАТЭК)

веса	6	5	4	6	6	6	6	4	5	6	5	4	5	Уровень опасности самовозгорания углей	
высокий	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	1	1	1		
средний	2	2	2	2	2	2	3	3	2	2	2	2	2		
низкий	3	3	3	3	3	3	2	2	1	3	3	3	3		
нижняя граница	2	20	2	20	2	0,01	10	25	5	1,5	8	50	15		
верхняя граница	3	60	3	30	4	0,03	15	35	8	2,5	30	70	25		
Номер скважины	Мощность, м	Глубина залегания угольного пласта, м	Строение (количество угольных пачек)	Угол наклона, град	Тектоническая нарушенность**, км/км ²	Карстовая нарушенность, d_j ***	Влажность, W_{h1} , %	Зольность, A^c , %	Метан, CH_4 , %	Сера, S^{c1} , %	Выход летучих веществ, V^{daf} , %	Гуминит, H , %	Инертинит, I , %		
981	50,9	221	0	2	0	0	42,3	10,9	0	0,6	42	81,2	15,4		Высокий
983	60,1	233,6	2	3	0	0	36,9	9,6	0	0,5	48	83,1	16,6		Высокий
985	70,8	236,7	3	2	0	0	38,9	7,1	0	0,4	51	80,4	17,9		Высокий
987	52,4	245,1	0	3	0	0	42,5	6,5	0	0,9	43	95,0	0,0		Средний
991	68,6	208,3	0	2	0	0	39,9	8	0	0,8	45	85,4	5,4		Средний
1002	50,2	203,9	0	2	0	0	42,4	6,7	0	0,7	48	82,2	6,1		Средний
1004	62,9	188,3	0	2	0	0	41,5	6,9	0	0,4	51	93,0	2,1		Средний
1005	52,6	222	2	2	0	0	39,9	7,1	0	0,5	37	78,8	18,0		Высокий
1008	63,5	224,9	0	3	0	0	43,8	9,4	0	0,6	46	87,3	1,1	Средний	
1009	55,4	236,4	0	3	0	0	38,9	11,7	0	0,6	45	88,8	0,6	Средний	

Примечание

** Тектоническая нарушенность оценивалась определением степени тектонической нарушенности – отношения суммарной длины (протяженности) тектонических нарушений к общей площади месторождения или шахтного поля, измеряемого в км/км²

*** Карстовая нарушенность оценивалась определением показателя закарстованности d_j – отношения суммарной площади карстово-нарушенных участков к общей площади месторождения или шахтного поля



Карта прогноза самовозгорания углей угольного пласта «Березовский» разреза «Березовский I» Канско-Ачинского бассейна:
 1 — выходы угольных пластов под наносы; 2 — выходы горелых пород под наносы; 3 — выходы обрушенных пород под наносы; 4 — разведочная скважина и ее номер; степень опасности самовозгорания углей: 5 — средняя, 6 — высокая

ны при построении карты прогноза самовозгорания углей исследуемого объекта. С этой целью была использована программа ArcMap 10.2 из семейства геоинформационных программ ArcGIS [3]. По имеющимся значениям методом интерполяции была построена непрерывная поверхность, отражающая степень опасности самовозгорания углей в каждой точке разреза, которая была преобразована в карту прогноза самовозгорания углей (рисунок).

Из карты прогноза видно, что преобладающая часть пласта «Березовский» имеет среднюю степень опасности самовозгорания углей. Высокая степень опасности их самовозгорания отмечена в северо-западной части залежи в скв. 387 ($V_t = 67,0\%$, $I = 15,8\%$), в восточной части в скв. 1199 ($V_t = 82,1\%$, $I = 15,5\%$), а также в двух небольших участках вблизи северной границы залежи. Самый крупный меридионально вытянутый участок с высокой степенью опасности самовозгорания углей располагается в середине восточной части залежи. Характерным является то, что в его пределы попадает крупный участок горелых пород.

Выводы

Метод многомерной классификации по эталонным точкам позволяет осуществить прогноз самовозгораемости углей на стадии геологоразведочных работ и на его основе показать пространственное распределение разных по степени опасности самовозгорания углей в пределах исследуемого пласта, используя геоинформационные программные продукты, например, семейства ArcGIS.

ЛИТЕРАТУРА

1. Быкадоров, В.С. Канско-Ачинский угольный бассейн / В.С. Быкадоров, К.В. Гаврилин, А.Ю. Озерский / Угольная база России. — Т. III. — М.: ООО «Геоинформ-центр», 2002. — С. 32–173.
2. Васякова, А.В. Генетические особенности самовозгорающихся углей Донецкого и Печорского бассейнов: дисс. ... канд. геол. — минер. наук: 04.00.16 / А.В. Васякова. — ДонбассНИЛ. — Ростов-на-Дону, 1985. — С. 103–156.

3. Голынская, Ф.А. Применение метода многомерной классификации по эталонным точкам для определения степени самовозгораемости углей на примере шахты «Распадская» Кузнецкого бассейна / Ф.А. Голынская, О.С. Смирнова, Р.А. Никонов // Изв. вузов. Серия «Геология и разведка». — 2015. — № 4. — С. 15–21.

4. Косарев, В.В. Заключение о доразведке поля разреза Березовский I Березовского бурогоугольного месторождения Канско-Ачинского бассейна (отчет Алтайского ГРП за 1975–1976 г.) / В.В. Косарев, М.Я. Жаворонков, А.С. Макаров. — Кемерово, 1976. — 283 л.

5. Смирнова, О.С. Статистические методы в прогнозировании самовозгорания углей / О.С. Смирнова, Ф.А. Голынская // Горн. инф.-анал. бюлл., 2016. — № 1. — С. 281–288.

6. Claudio Avila, Tao Wu, Edward Lester Petrographic characterization of coals as a tool to detect spontaneous combustion potential / Avila Claudio, Tao Wu, Edward Lester // International Journal of Coal Geology 125. — 2014. — P. 173–182.

© Голынская Ф.А., Смирнова О.С., 2019

Голынская Фарида Асхатовна // golynskaya@yandex.ru
 Смирнова Ольга Сергеевна // kisaolga@mail.ru

УДК 622.831.24.001

Хоменко О.Е.¹, Ляшенко В.И.² (1 — Национальный технический университет «Днепропетровская политехника» Министерства образования и науки Украины, г. Днепр, Украина, 2 — ГП «УкрНИПИИпромтехнологии», г. Желтые Воды, Украина)

РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ И ОХРАНА НЕДР ПРИ ПОДЗЕМНОЙ РАЗРАБОТКЕ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕНЕЗА

Приведены основные научные и практические результаты рационального использования и охраны недр при подземной разработке рудных месторождений в условиях техногенеза на основе надежного геолого-маркшейдерского и геомеханического обеспечения с учетом устойчивости обнажений горных массивов и размеров приконтурной энергети-