

МИНЕРАЛОГИЯ, ПЕТРОГРАФИЯ, ЛИТОЛОГИЯ

УДК 552.574

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА МНОГОМЕРНОЙ КЛАССИФИКАЦИИ
ПО ЭТАЛОННЫМ ТОЧКАМ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТЕПЕНИ
САМОВОЗГОРАЕМОСТИ УГЛЕЙ
НА ПРИМЕРЕ ШАХТЫ «РАСПАДСКАЯ» КУЗНЕЦКОГО БАССЕЙНА**

Ф.А. ГОЛЫНСКАЯ¹, О.С. СМИРНОВА², Р.А. НИКОНОВ³

*¹Национальный исследовательский технический университет «МИСиС»,
119991, Россия, г. Москва, Ленинский проспект, д. 6, e-mail: golynskaya@yandex.ru*

*²Московский государственный университет
119234, Россия, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, e-mail: kisaolga@mail.ru*

*³Институт проблем нефти и газа РАН,
119333, Россия, г. Москва, ул. Губкина, д. 3, e-mail: nikonovroman@gmail.com*

Задача исследований состояла в том, чтобы, используя данные об угольном пласте, полученные на стадии геолого-разведочных работ, составить прогноз самовозгорания углей. В результате изучения геологического строения угольных пластов, физико-химических исследований и анализа статистических данных о самовозгорании углей установлены геологические факторы самовозгорания углей и граничные значения их параметров разной степени опасности самовозгорания для ряда бассейнов и месторождений. В основе разработанной авторами методики лежит ранговая модель данных и идея, состоящая в классификации этих данных по «близости» к эталонным группам наблюдений. Переход от исходных данных угольного пласта к ранговой шкале осуществлялся с использованием нормативов (граничных значений) уровней опасности самовозгорания углей. Полученные данные были использованы при построении карты прогноза самовозгорания углей поля шахты «Распадская» Кузнецкого бассейна.

Ключевые слова: самовозгорание углей; геологические факторы; ранговая модель; эталонные группы; нормативы; эталонные точки-концентраторы; степень опасности самовозгорания; карта прогноза самовозгорания углей.

**THE APPLICATION OF MULTIVARIATE CLASSIFICATION METHOD
BY REFERENCE POINTS TO DETERMINE THE DEGREE OF SPONTANEOUS
COMBUSTION OF COAL ON THE EXAMPLE
OF THE RASPADSKAYA MINE IN KUZBASS**

F.A. GOLYNSKAYA¹, O.S. SMIRNOVA², R.A. NIKONOV³

*¹The National University of Science and Technology MISiS
119991, Russia, Moscow, Leninsky prospect, 6, e-mail: golynskaya@yandex.ru*

*²Lomonosov Moscow State University
119234, Russia, Moscow, Leninsky Gory, 1, e-mail: kisaolga@mail.ru*

*³OIL and GAS RESEARCH INSTITUTE Russian Academy of Sciences
119333, Russia, Moscow, ulitsa Gubkina, 3, e-mail: nikonovroman@gmail.com*

The objective of the research was to use the data about coal seam, obtained at the stage of exploration, to predict spontaneous combustion of coal. As a result of studying the geological structure of coal seams, physical-chemical research and analysis of statistical data on the spontaneous combustion of coals, geological factors of spontaneous combustion of coal and the boundary values of their parameters varying degrees of danger of spontaneous combustion for a number of basins and deposits were established. The basis of the authors' methodology is based on ranking the data model and on the idea to classify this data by «proximity» to the reference groups of observations. The transition from the original data of the coal seam to rank scale was carried out using standards (boundary values) of levels of danger of spontaneous combustion of coal. The obtained data were used to construct maps of the prediction of spontaneous combustion of coal fields in «Raspadskaya» mine in Kuzbass.

Key words: spontaneous combustion of coal; geological factors; rank model; reference groups; standards; reference point of the hub; the degree of danger of spontaneous combustion; map prediction of spontaneous combustion of coal.

Самовозгорание углей проявляется как в естественных, так и в промышленных условиях, и возникает периодически в результате совокупного воздействия факторов различного генезиса. В случае возникновения вблизи поверхности негативно воздействует на окружающую природу и человека, а в условиях подземного горнодобывающего предприятия создает угрозу жизни людей и приводит к значительным экономическим потерям.

Имеется множество свидетельств древних пожаров. Е.О. Погребницкий еще в 1928—1929 гг. проводил исследования древних подземных пожаров в Джелал-Абадском угленосном районе (юго-западный склон Ферганского хребта) на Кок-Янгахском каменноугольном месторождении, где описал коренные юрские породы, сильно измененные древними подземными пожарами угольных пластов. Он отмечал, что «от мощных пластов углей остается только едва заметный сажистый след... Глубина, на которую распространяется пожар в угольных пластах, достигает 20—40 м от дневной поверхности или от контакта с перекрывающими наносами» [8, с. 124].

В Канско-Ачинском бассейне на выходах (до 20 км по простиранию и до глубины 20—40 м от поверхности) древними пожарами уничтожены угли пласта Мощного. В Кузнецком бассейне также отмечены обширные зоны выгорания с поверхности угольных пластов Мощного, Прокопьевского, Спутника и других углей на глубинах до 150—200 м [5]. Горение ископаемого топлива, как видно из приведенных примеров, может происходить в естественном залегании в недрах земли, но в этом случае, в отличие от промышленных условий, процесс нерегулируемый и на сегодняшний день практически непрогнозируемый.

В результате длительных и разносторонних исследований были сформулированы основные физические условия самовозгорания углей: 1) наличие в угольном веществе соединений активных к окислению при низких температурах; 2) возможность доступа воздуха к угольному веществу; 3) затрудненная отдача тепла в окружающую среду [2].

Наблюдения в горных выработках показали, что самовозгорание углей может быть вызвано не только горно-техническими условиями разработки угольных пластов (вентиляция, осушение, обруше-

ние кровли и т. д.). Важную роль в этом процессе играют условия залегания угольного пласта и вещественный состав углей, т. е. характеристики, которые связаны с генетическими условиями формирования угольной залежи. К настоящему времени установлено около полутора десятков геолого-генетических факторов, которые, по мнению ученых, могут влиять на самовозгорание углей. Эти факторы условно можно разделить на две группы: а) связанные с условиями залегания угольного пласта; б) связанные с составом и свойствами вещества углей [3, 4]. Ниже дается характеристика основных факторов, влияющих на самовозгорание углей, параметры которых в точках наблюдений определяются по результатам геолого-разведочных работ.

Факторы, связанные с условиями залегания угольного пласта

Мощность угольного пласта. Исследования показали, что угли мощных пластов чаще самовозгораются, и число эндогенных пожаров в таких пластах значительно выше, чем в тонких, поскольку в мощных пластах значительно выше вероятность встречи минеральных и органических инициаторов самовозгорания угля. Однако наибольшее значение в этом случае имеет малая теплопроводность угля, вследствие чего происходит накопление тепла и повышение его температуры до температуры воспламенения.

Глубина залегания угольного пласта, как фактор самовозгорания углей, имеет значение: а) при неглубоком залегании до 70—100 м или выходе на поверхность — опасность самовозгорания связана с повышенной трещиноватостью и пористостью перекрывающих пород, что облегчает доступ кислорода воздуха и влаги к угольному веществу и дальнейшее его окисление; б) при значительных глубинах — 300—700 м и более — опасность самовозгорания углей обусловлена возрастанием геотермического градиента.

Строение угольного пласта. Угольные пласты сложного строения, включающие породные прослойки, особенно песчаные, менее устойчивы к разрушению под действием тектонических движений, горного давления, что приводит к образова-

нию опасных по самовозгоранию скоплений угольной мелочи. В нём, кроме того, повышается вероятность наличия активных к окислению и самовозгоранию компонентов: сульфидов железа, микрокомпонентов групп инертинита, витритита и др.

Вмещающие породы. На процесс самовозгорания угля оказывает влияние различие в теплопроводности вмещающих пород: уголь, углистые и глинистые сланцы являются изоляторами и способствуют аккумуляции тепла, а песчаники и известняки — хорошими проводниками тепла, что приводит к его отводу из угольного массива.

Увеличение угла падения угольного пласта повышает опасность самовозгорания вследствие увеличения с глубиной геотермического градиента, что приводит к росту температуры в угольном массиве, при этом конвекционные потоки, вызванные различием температур на разных глубинах, облегчают доступ кислорода к угольному веществу.

Тектоническая нарушенность угольных пластов образует зоны повышенной трещиноватости, что облегчает доступ кислорода воздуха во внутреннюю часть угольного массива, а в угольной мелочи концентрируются активные к окислению и самовозгоранию органические и неорганические компоненты угля. Кроме того, изменение физических свойств угля (он становится мягким, рыхлым и влажным) делает его активным к окислению и самовозгоранию.

Факторы, связанные с составом и свойствами вещества углей

Влажность W_i^r , W_h . Доказано, что влага играет важную роль в процессе самонагрева и самовозгорания угля, но в зависимости от формы содержания в углях и количественного соотношения к общей его массе может инициировать самовозгорание или, наоборот, препятствовать этому процессу. *Влага воздушно-сухого угля W_h* «участвует в окислительных эндотермических реакциях как с органическими, так и неорганическими соединениями в угольном веществе» [1, с. 47]. Интенсивное увлажнение угля, выраженное высокими значениями *общей влаги W_i^r* , заполняющей каналы проникновения кислорода к угольной массе, препятствует окислительному процессу. При существенном разбросе параметров W_h этот фактор позволяет дифференцировать бурые угли по степени опасности самовозгорания.

Зольность A^d . В минеральной составляющей углей некоторых бассейнов обнаружено повышенное содержание активных к окислению и самонагреванию соединений: пирита, марказита и др. Неактивное к кислороду минеральное вещество углей, представленное глинистыми минералами, сульфатами, оксидами кремния, алюминия и других элементов, при значительном его содержании может

оказывать существенное ингибирующее воздействие: поглощать тепло и снижать температуру при самонагревании углей. При высоких и контрастных значениях A^d этот параметр может быть использован как показатель дифференциации углей по степени опасности их самовозгорания.

Выход летучих веществ V^{daf} . В большинстве методик исследования самовозгорания углей V^{daf} используется как параметр, позволяющий дифференцировать их по степени метаморфизма и приобретающий значение при установлении склонности к самовозгоранию в ряду каменных углей, которое изменяется весьма неравномерно [7].

Сернистость S_i^d . Экзотермические реакции сульфидов железа с кислородом при их повышенном содержании в углях играют важную роль в повышении температуры угольного вещества до температуры воспламенения. При увлажнении угля с повышенным содержанием сульфидов железа его окислительная активность увеличивается на порядок [10].

Влияние *петрографического состава органической части углей* на процесс их окисления и самовозгорания обусловлено сорбционной способностью и химической активностью соединений, входящих в состав органических микрокомпонентов. Микрокомпоненты группы витринита Vt , как наименее устойчивые к окислению, при высоком их содержании и хорошей сохранности клеточной структуры имеют первоочередное значение в процессе самовозгорания углей. Однако наивысшей сорбционной способностью обладают крупные включения микрокомпонентов группы инертинита I , имеющие высокую пористость, обусловленную хорошо сохранившейся клеточной структурой. Установлено, что включения инертинита в витринитовой массе в результате его окисления обуславливают «образование в витрините микротрещиноватости и, как следствие, обеспечение свободного доступа кислорода к угольному веществу» [7]. И.В. Еремин с соавторами утверждают, что «микрокомпоненты группы фюзинита (инертинита — $\Phi.Г.$) дают импульс развитию процесса самовозгорания угля». Но отмечают, что «микрокомпоненты групп фюзинита и лейптинита по оптическим свойствам более устойчивы к окислению, чем витринит» [6].

Газоносность. Большая часть содержащихся в углях газов инертна по отношению к самовозгоранию углей. Главную роль в процессе самовозгорания углей играет метан, высокое содержание которого в углях препятствует проникновению внутрь угля кислорода и, следовательно, их активному окислению и самовозгоранию. Газообразные соединения углерода с кислородом (CO , CO_2), как и метан, имеют значение для процесса самовозгорания углей в случае залегания угольных пластов на значительных глубинах, где под давлением заполняют пустоты и поры и тем самым также препятствуют окислению и самовозгоранию углей.

Степень метаморфизма (показатель отражения витринита R_0). Степень метаморфизма углей, как признак определённого физико-химического состояния угольного вещества, однозначно указывает на отношение углей к самовозгоранию: бурые угли ($R_0 < 0,60$ %) — опасные по самовозгоранию, каменные ($R_0 = 0,40-2,59$ %) — менее опасные,

антрациты ($R_0 > 2,20$ %) — практически не самовозгораются. Роль степени метаморфизма углей, как фактора самовозгорания, существенно снижается при изменении физико-химических характеристик углей в результате их раздробления и разрыхления, повышении влажности, содержания сульфидов и др.

Таблица 1

ДАННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ САМОВОЗГОРАНИЯ УГЛЕЙ УГОЛЬНОГО ПЛАСТА 19 ШАХТЫ «РАСПАДСКАЯ» КУЗНЕЦКОГО БАСЕЙНА

Номер скважины	Мощность угольного пласта, м	Глубина залегания угольного пласта, м	Строение угольного пласта (число угольных пачек)	Вмещающие породы (породы кровли)	Угол наклона, град.	Тектоническая нарушенность*, км/км ²	Показатель карстонарушенности, d_j **	Влажность, W_h , %	Метаноносность, м ³ /т	Зольность, A^d , %	Сера общая, S^t , %	Выход летучих веществ, V_{daf} , %	Микрокомпоненты		Показатель отражения витринита, R_0 , %
													группы витринита, V_v , %	группы инертинита, I , %	
204	2,0	754,8	3	Аргиллиты	35	1,5	0	2,5	18,4	10,6	0,24	40,0	48,3	26,6	0,71
206	3,4	629,4	3	Аргиллиты	35	3,2	0	1,8	16,2	8,9	0,23	33,7	32,1	42,7	0,96
207	3,7	992,8	3	Аргиллиты	75	2,4	0	2,3	20,0	9,6	0,27	35,5	49,9	24,1	0,86
208	2,8	727,0	3	Аргиллиты	40	2,4	0	2,1	19,9	9,9	0,16	38,0	53,8	25,7	0,75
210	3,1	300,0	3	Аргиллиты	54	3,0	0	2,3	14,4	8,5	0,20	29,0	60,5	34,2	1,12
211	1,8	57,4	2	Алевриты	45	4,0	0	2,0	0,0	4,7	0,23	29,9	88,0	7,9	1,08
212	9,8	49,9	5	Аргиллиты	35	7,7	0	2,7	0,0	10,3	0,24	34,8	46,6	33,1	0,91
213	5,4	256,7	4	Аргиллиты	45	2,3	0	2,5	10,8	8,7	0,18	35,0	75,1	20,4	0,88
214	2,4	195,9	3	Аргиллиты	25	4,0	0	3,8	8,8	7,6	0,19	34,6	46,0	38,5	0,90
215	2,7	63,5	3	Алевриты	35	0,5	0	2,3	0,0	9,9	0,24	34,6	46,7	34,1	0,91

Примечания.

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

** Карстонарушенность оценивалась определением показателя закарстованности d_j — отношения суммарной площади карстонарушенных участков к общей площади месторождения или шахтного поля [8].

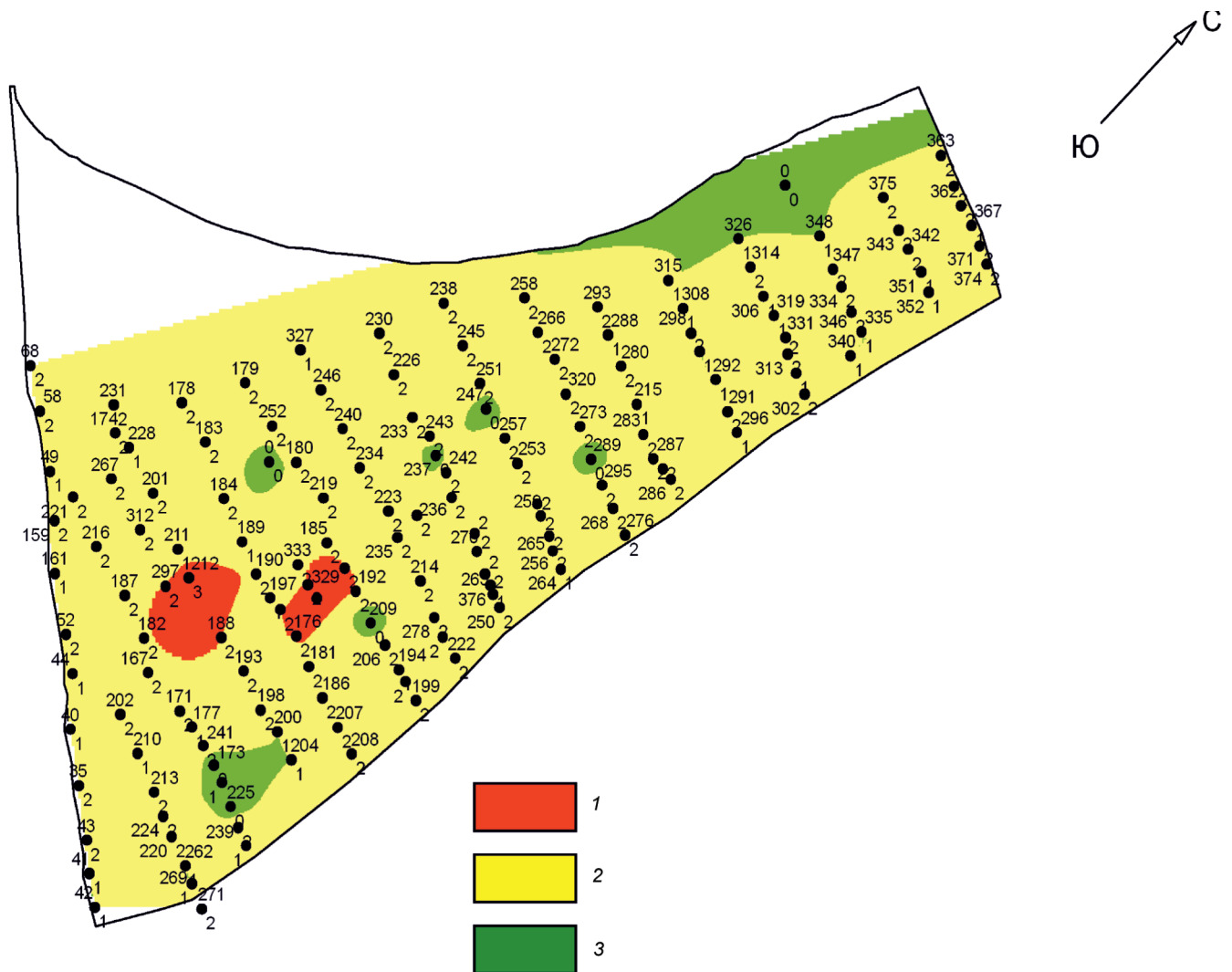
Таблица 2

ТАБЛИЦА РАНГОВ ПО СТЕПЕНИ ОПАСНОСТИ САМОВОЗГОРАНИЯ УГЛЕЙ УГОЛЬНОГО ПЛАСТА 19 ШАХТЫ «РАСПАДСКАЯ» КУЗНЕЦКОГО БАСЕЙНА

Номер скважины	Мощность угольного пласта, м	Глубина залегания угольного пласта, м	Вмещающие породы (породы кровли)	Строение угольного пласта (число угольных пачек)	Угол наклона, град.	Тектоническая нарушенность, км/км ²	Показатель карстонарушенности	Влажность, W_h , %	Метаноносность, м ³ /т	Зольность, A^d , %	Сера общая, S^t , %	Показатель отражения витринита, R_0 , %	Микрокомпоненты		СТЕПЕНЬ ОПАСНОСТИ САМОВОЗГОРАНИЯ УГЛЕЙ	РАССТОЯНИЕ ДО ЭТАЛОННЫХ ТОЧЕК		
													группы витринита, V_v , %	группы инертинита, I , %		p ¹	p ²	p ³
Вес	6	5	3	3	6	6	6	6	3	5	6	5	3	5		p ¹	p ²	p ³
204	1	3	1	2	2	1	0	1	3	1	1	2	1	3	Неопасные	46	33,6	54
206	2	3	2	2	2	2	0	1	1	1	1	2	1	2	Малоопасные	47	34,6	57,7
207	2	3	2	2	3	2	0	1	1	1	1	2	1	2	Малоопасные	35	33,4	62,5
208	1	3	2	2	2	2	0	1	1	1	1	2	2	3	Малоопасные	39	41,4	65,7
210	1	2	1	2	3	2	0	1	1	1	1	1	3	1	Неопасные	37	49,4	67,7
211	1	1	1	2	3	2	0	1	1	3	1	1	3	2	Неопасные	51	32,6	51,2
213	2	2	2	3	3	2	0	1	1	1	1	2	1	3	Малоопасные	67	48,6	47,4
212	3	1	1	3	2	3	0	1	3	3	1	2	1	3	Опасные	35	33,4	62,5
214	1	2	2	2	2	2	0	1	1	1	1	2	1	3	Малоопасные	34	43,2	66
215	1	1		2	2	1	0	1	1	3	1	2	1	2	Неопасные	42	39,6	62,7

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ САМОВОЗГОРАНИЯ УГЛЕЙ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ БАЛАХОНСКОЙ СЕРИИ
КУЗНЕЦКОГО БАСЕЙНА

Геологические факторы	Ранги	Мощность угольного пласта, м	Глубина залегания, м	Строение (число угольных пачек)	Вмещающие породы (породы кровли)	Угол наклона, град.	Степень тектонической нарушенности, км/км ²	Влажность, W_h , %	Зольность, A^d , %	Метаноносность угольного пласта, м ³ /т	Сера общая, S^d , %	Выход летучих в-в, V^{daf} , %	Микрокомпоненты		Показатель отграждения витринита, R_0 , %
													Группы витринита, V_v , %	Группы ингертинита, V_i , %	
Неопасные	1	< 3,2	< 100	1	Аргиллиты, углистые аргиллиты	> 25	< 2	< 10,0	< 10,0	> 8,0	< 1,5	< 30,0	> 71,0	< 16,0	> 1,00
Малоопасные	2	3,2–7,2	100–300	2–3	Алевриты, песчаники мелкозернистые	25–40	2–4	> 15,0	> 20,0	5,0–8,0	1,5–4,0	30,0–40,0	56,0–71,0	16,0–29,8	0,70–0,99
Опасные	3	> 7,2	> 300	> 3	Песчаники средне- и крупнозернистые	> 40	> 4	10,0–15,0	10,0–20,0	< -5,0	> 4,0	> 41,0	< 56,0	> 29,8	< 0,69



Карта прогноза самовозгорания углей угольного пласта 19 поля шахты «Распадская» Кузнецкого бассейна: 1 — угли, опасные по самовозгоранию; 2 — угли, малоопасные по самовозгоранию; 3 — угли, неопасные по самовозгоранию

Изучение геологического строения угольных месторождений, физико-химические исследования и анализ статистических данных об эндогенных пожарах позволили установить геологические факторы самовозгорания углей и граничные значения параметров опасности самовозгорания для ряда бассейнов и месторождений.

Задача проводимых авторами исследований состояла в том, чтобы, используя данные об угольном месторождении, полученные на стадии геолого-разведочных работ, составить прогноз самовозгорания углей для исследуемого угольного пласта. Предварительный анализ собранных данных о месторождениях угольных бассейнов и угленосных площадях, произведённый с помощью статистического пакета STATISTICA 6.1, показал, что параметры рассматриваемых геологических факторов, во-первых, не могут быть признаны нормально распределёнными, во-вторых, эти факторы, как правило, не имеют значимых корреляций. Кроме того, имеются данные как непрерывные, так и дискретные с малым числом значений и с их различным диапазоном. Таким образом, большинство классических методов многомерного статистического анализа не может быть использовано. Вследствие этого, для решения поставленной задачи авторами была разработана новая оригинальная методика, в основе которой лежит *ранговая модель* данных и идея, состоящая в классификации этих данных по «близости» к эталонным группам наблюдений.

Прогноз самовозгорания углей с применением метода многомерной классификации по эталонным точкам осуществлён в границах поля шахты «Распадская», которое расположено в центральной части Распадского месторождения Кузнецкого бассейна.

Переход от исходных данных угольного пласта, полученных в результате геолого-разведочных работ (табл. 1), к ранговой шкале (табл. 2) осуществлялся с использованием *нормативов* (граничных значений) уровней опасности самовозгорания углей, установленных в Кузнецком бассейне, в которой выделены: 1) неопасные; 2) малоопасные; 3) опасные по самовозгоранию параметры углей (табл. 3). При этом исходные данные по конкретному шахтному полю (месторождению) могут содержать не все факторы. В этом случае в ранговой шкале данные заменяются нулями. Параметрам в преобразованной ранговой таблице присваиваются веса (коэффициенты) тем более высокие, чем больше их значимость для повышения степени опасности самовозгорания углей.

Точки многомерного пространства рангов классифицируются по близости (минимуму расстояния) к трем эталонным *точкам-концентраторам*, являющихся центрами тяжести эталонных групп, составленных из неопасных, малоопасных и опас-

ных наборов рангов. Все необходимые преобразования исходных данных и вычисления производились автоматически программой (макросом) на языке Visual Basic для Excel.

В результате проведённых расчётов в каждой точке наблюдений (скважине) в пределах поля шахты «Распадская» установлена степень опасности самовозгорания углей. Полученные данные были использованы при построении карты прогноза самовозгорания углей исследуемого шахтного поля (рисунок). С этой целью была применена программа ArcMap 10.2 из семейства геоинформационных программ ArcGIS. В программе были размещены данные о расположении скважин и степени опасности самовозгорания углей в формате AutoCad (dxf). Далее по имеющимся значениям методом интерполяции была построена непрерывная поверхность, отражающая степень опасности самовозгорания углей в каждой точке месторождения, которая была преобразована в карту прогноза самовозгорания углей.

Анализ карты прогноза показал, что большая часть (около 85 %) угольного пласта в границах шахтного поля «Распадская» содержит угли малоопасные по самовозгоранию. На долю опасных по самовозгоранию углей, которые образуют два изолированных участка, приходится около 7 % исследуемой площади. Характерным для точек наблюдений в пределах этих участков является высокая степень тектонической нарушенности, имеющая опасные по самовозгоранию значения: скв. 212 — 7,7, скв. 329 — 7,4 км/км². Обе скважины отличаются также опасным по самовозгоранию содержанием микрокомпонентов группы витринита: 46,6 и 54,0 % соответственно. Мощность угольного пласта в скв. 212 имеет опасные по самовозгоранию значения — 9,8 м, но неопасные в скв. 329 — 3,0 м, а глубина залегания угольного пласта, наоборот, в скв. 212 имеет неопасные — 49,9 м, а в скв. 329 опасные по самовозгоранию углей значения 611,6 м. В итоге в результате статистических расчётов, в которых были учтены и другие параметры, обе скважины были отнесены к опасным по самовозгоранию углей.

Таким образом, было показано, что для определения степени самовозгораемости угольного пласта по данным геолого-разведочных работ целесообразно применение метода многомерной классификации по эталонным точкам, который состоит в классификации данных по «близости» к эталонным группам наблюдений. Полученные в каждой точке наблюдений данные о степени самовозгораемости углей позволяют показать пространственное распределение разных по степени опасности самовозгорания углей в пределах шахтного поля, отдельного месторождения путем применения геоинформационных программных продуктов, например, семейства ArcGIS.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бессолицына Г.Г., Денисенко В.Е. Роль влаги в тепловом балансе самонагрева углей // Соверш. техн. и техн. подз. добычи угля в Челябинском бассейне. Челябинск: НИИГР, 1974. Вып. 4. С. 44–49.
2. Веселовский В.С., Виноградова Л.П., Орлеанская Г.Л., Терпюгосова Е.А. Физические основы самовозгорания угля и руд. М.: Недра, 1972. 41–45.
3. Голынская Ф.А. Самовозгорание углей в пластах и причины его возникновения // Вестник МГУ. Серия 4. Геология. 1998. № 6. С. 65–66.
4. Голынская Ф.А. Характеристика наиболее действенных факторов самовозгорания углей в пластах (статья) // Горный бюллетень. 2011. № 2. С. 19–23.
5. Геология месторождений угля и горючих сланцев СССР. Т. 7. / Глав. ред.: И.И. Аммосов. М., 1969. С. 56–62.
6. Еремин И.В., Лебедев В.В., Цикарев Д.А. Петрографические и физические свойства углей. М.: Недра, 1980. С. 79, 193.
7. Маевская В.М. Прогноз эндогенной пожароопасности при разработке угольных пластов. Дис. ... докт. тех. наук. Кемерово, 1969. 384 с.
8. Погребницкий О.Е. Некоторые данные о самовозгорании ископаемых углей и физико-химических изменениях в зоне подземного пожара // Изв. АН СССР. Сер. «Геол.». 1943. № 4–5. С. 120–136.
9. Севостьянов Ю.А. Исследование карста на южном крыле Подмосквового бассейна применительно к практике разведки и эксплуатации угольных месторождений. Дисс. ... канд. геол.-мин. наук: Тула, 1970. 159 с.
10. Штах Э., Маковски М.Т., Тайхмюллер М., Тейлор Т., Чандра Д., Тайхмюллер Р. Петрология углей. М.: Мир, 1978. 548 с.