

УДК 622.822:541.128.24

Ф.А. Гольнская

ОЦЕНКА ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ САМОВОЗГОРАНИЯ УГЛЕЙ ВЕДУЩИХ УГОЛЬНЫХ БАССЕЙНОВ

Дан обзор состояния проблемы самовозгорания углей и характеристика геологических факторов самовозгорания в крупнейших угольных бассейнах различных тектонических типов. Представлены аналитические исследования, проведенные в Подмосковном, Кузнецком и Донецком бассейнах. С этой целью были изучены, анализированы и обобщены статистические данные, фондовые материалы и материалы научных обзоров ранее проведенных исследований. Итогом этой работы явилось установление индивидуального комплекса геологических факторов, обуславливающего наличие самовозгорающихся углей.

Ключевые слова: самовозгорание углей, угольные бассейны, геологические факторы, нарушенность, метаноносность, вмещающие породы, влажность, сернистость.

Семинар 1

Самовозгорание углей, которое наблюдается как в естественных, так и в промышленных условиях, возникает в результате совокупного воздействия факторов различного генезиса и, в случае возникновения вблизи поверхности, негативно воздействует на окружающую живую природу и человека, а в условиях подземного горнодобывающего предприятия создает угрозу жизни людей и приводит к значительным экономическим потерям. Было установлено, что отсутствие всестороннего и детального анализа геологической информации в современных методиках существенно влияют на достоверность составленных прогнозов. Следует также отметить, что существующие методики не всегда учитывают весь комплекс геологических факторов, влияющих на самовозгорание углей того или иного бассейна. Ввиду этого возникает необходимость разработки эффективной модели прогноза самовозгорающихся угольных пластов на основе детального ис-

следования геологического строения и качества углей различных бассейнов.

Подмосковный бассейн. В период активной разработки угольных месторождений Подмосковный бурого угольный бассейн занимал лидирующее положение по числу подземных пожаров от самовозгорания углей. На их долю в разные годы приходилось от 40 до 50 %. Это обусловлено в первую очередь низкой степенью их углефикации и спецификой вещественного состава. По химической активности подмосковные углей занимают лидирующее положение среди бассейнов: $\bar{U}_{25} - 0,15$ мл/г·час.

С 80-х годов автором настоящей работы проводились исследования, целью которых было установление геологических факторов и разработка методики прогноза самовозгорания углей в пластах для месторождений Подмосковного бассейна. На основании детального и разностороннего изучения геологического строения, угленосности и качества углей, а также

наблюдения и опробования углей в очагах самовозгорания в горных выработках, были установлены наиболее действенные геологические факторы и их параметры, обуславливающие самовозгорание углей как в промышленной обстановке, так и в естественных условиях. Выделенный комплекс геологических факторов включает мощность угольного пласта, нарушенность, глубину залегания угольного пласта, вмещающие породы, степень метаморфизма, петрографический состав органической части углей, зольность, влажность, сернистость. В ходе исследований была разработана методика прогноза самовозгорания подмосковных углей, при помощи которой для исследуемых месторождений был составлен прогноз самовозгорания и установлены участки опасных по самовозгоранию углей. Установленный комплекс геологических факторов и разработанная методика прогноза самовозгорания углей в пласта позволяет своевременно выявить и произвести площадную оценку по степени опасности самовозгорания месторождения в целом и отдельных его участков на стадии геологоразведочных работ, существенно не увеличивая объемов опробования и лабораторных исследований. В соответствии с методикой автором была осуществлена первичная оценка степени опасности самовозгорания углей на разведанных площадях Западно-Шекинского и Грызловского месторождений. Для исследуемых месторождений были подтверждены статистические данные о склонности их углей к самовозгоранию и составлены карты прогноза самовозгорающихся углей.

В результате проведенных в бассейне исследований, была установлена связь повышения склонности углей к самовозгоранию с увеличением

мощности угольного пласта. Анализ статистических данных показал, что более двух третей пожаров от самовозгорания углей в Подмосковном бассейне произошло в пластах мощностью более 3,5 м. Так, на самых опасных по самовозгоранию месторождениях средние значения мощности составляют: на Широно-Сокольническом – 2,5–4,0 м, Зубовском – 3,0–4,0 м, Жданковском – 2,0–3,0 м, что выше средних значений по бассейну. Отмеченная тенденция прослеживается при сопоставлении значений мощности угольного пласта и степени опасности самовозгорания и на других месторождениях бассейна. Фактическим подтверждением данной тенденции стали наблюдения в очагах самовозгорания в горных выработках. Так, результаты исследований в шахте «Западная» Западно-Шекинского месторождения показали, что более двух третей очагов самовозгорания приурочены к пластам мощностью, превышающей 3,5 м.

Глубина залегания угольного пласта как опасных по самовозгоранию месторождениях, так и неопасных, колеблется в среднем в пределах 40–60 м: Широно-Сокольническое – 55–65 м, Зубовское – 50–60 м, Жданковское – 45–60 м, Козельское – 27–45 м, Веригинское – 60 м, Малевское – 20–40 м. Глубина обнаружения очагов самовозгорания углей также не превышала 50–60 м. В целом в бассейне амплитуда колебания глубины залегания угольного пласта составляет в среднем 10–20 м, что обусловлено горизонтальным залеганием угленосных толщ и сравнительно небольшой амплитудой колебания абсолютных отметок дневной поверхности над угольными залежами (10–20 м), следовательно по этому

фактору дифференцировать угольный пласт по степени опасности самовозгорания не представляется возможным.

Строение угольного пласта. В очагах самовозгорания, как и всего бассейна, строение угольного пласта умеренно сложное (1–3 пропластка). Породные прослои представлены главным образом углистыми глинами, в которых встречены активные к окислению включения: линзы блестящих углей (ш. «3-Западная», 22 сев.откат. штрек, пк 15) и конкреции марказита (там же, 47 вост. штрек, пк 40+5). Однако приуроченности очагов самовозгорания к породным прослоям отмечено не было. Увеличение количества породных прослоев делает угольный пласт менее устойчивым, поэтому фактор «строение угольного пласта» в Подмосковном бассейне приобретает значение главным образом на стадии разработки месторождения.

Вмещающие породы. В исследуемом бассейне на фоне преобладания в кровле и подошве глинистых пород, отмечены территории, где вмещающие породы в значительной степени развиты песчаные отложения, особенно в кровле. Установлено, что для месторождений Подмосковного бассейна характерна тенденция уменьшения содержания песков во вмещающих породах от опасных по самовозгоранию месторождений к неопасным, вплоть до полного их отсутствия в последних. Так, кровля опасного по самовозгоранию углей Западно-Щекинского месторождения более чем на 50 % сложена песками и алевролитами. в отличии от неопасного по самовозгоранию Грызловского месторождения, у которого в кровле преобладают глинистые породы. Наблюдения в горных выработках также показали, что в кровле уголь-

ного пласта очагов самовозгорания углей в подавляющем большинстве случаев залегают рыхлые песчаные породы: мелкозернистые пески отмечены в 43 из 47 (около 90 %) исследованных очагов. В подошве распространены преимущественно плотные глины и аргиллиты. Таким образом, на исследуемой территории наиболее опасны по самовозгоранию угольные пласты, содержащие в кровле преимущественно песчаные породы.

На территории бассейна *нарушенность* связана с развитием постформационного карста в подстилающих угольный пласт известняках упинского горизонта. В зоне интенсивной карстонарушенности отмечено 16 очагов самовозгорания. Менее карстонарушенные угольные пласты, характеризующиеся умеренной трещиноватостью и крупной отдельностью углей, встречены в 24 очагах самовозгорания. Отсюда следует, что более 80 % эндогенных пожаров на исследуемом месторождении произошло в той или иной степени в карстонарушенной зоне. При исследовании карстонарушенности угольных пластов были использованы данные Ю.А. Севостьянова (1970), который классифицировал угольные месторождения Подмосковного бассейна в соответствии с показателем закарстованности d_j . Западно-Щекинское месторождение по этой классификации имеет d_j равное 0,03 и относится к наиболее карстонарушенным. Анализ и сопоставление данных разведочного бурения исследуемых месторождений с показателями их закарстованности d_j и статистических данных о числе самовозгораний привели к заключению о том, что опасные по самовозгоранию месторождения характеризуются высоким показателем закарстованности – более 0,03, малоопасные – от 0,01 до 0,03

и неопасные – менее 0,01. Следовательно, карстонарушенность в Подмосковном бассейне – это фактор, который однозначно указывает на опасные по самовозгоранию угольные пласты.

Влажность. Исследование влажности W^a в очагах самовозгорания позволило определить интервал значений, при которых уголь наиболее склонен к самовозгоранию. Этот интервал соответствует 10–15 % и установлен в 90 % точек наблюдения. Эти данные свидетельствуют о влиянии W^a на процесс окисления угольного вещества. Анализ влажности отдельных месторождений показал, что уголь более чем 70 % опасных по самовозгоранию месторождений имеют преобладающую W^a в интервале 10–15 %. Для подмосковных углей «критическая влажность» установлена в интервале от 10 до 15 % (в среднем 12 %).

Зольность. В результате проведенных исследований было установлено, что наибольшим распространением в очагах самовозгорания углей пользуются среднезольные угли (A^d от 25 до 35 %), но более всего встречено углей многозольных (A^d от 35 до 45 %). Эти данные указывают на то, что наиболее опасными по самовозгоранию на исследуемом месторождении являются среднезольные угли. Изменчивость параметров зольности в пределах угольной залежи позволяет дифференцировать угольные пласты по степени склонности их к самовозгоранию по этому фактору.

Угли Подмосковного бассейна отличаются высокой *сернистостью*, которая обусловлена значительным содержанием в них дисульфидов железа (пирита и марказита). В очагах самовозгорания углей низкосернистые угли (S_t^d менее 1,5 %) не встречены. Наибольшее распространение имеют

здесь среднесернистые (S_t^d 1,5–2,5 %) и сернистые (S_t^d 2,5–4,0 %) угли, которые встречены в более чем 90 % очагов. Изучение kernового материала и наблюдения в горных выработках показали, что в подмосковных углях преобладает марказит, который слагает и крупные включения (линзы, конкреции, стяжения), и рассеян в виде тонкодисперсной массы в угольном веществе. Микроскопические исследования дисульфидов из очагов самовозгорания показали, что 60 % тонкодисперсного марказита рассеяно в основной массе, 38 % выполняет полости клеток растительных тканей и 2 % образует псевдоморфозы по растительным тканям. Эти данные подтверждают ранее сделанные выводы об иницирующей роли тонкодисперсных дисульфидов при самовозгорании углей.

Особенностью *петрографического состава* подмосковных углей является сравнительно низкое для гумолитов содержание микрокомпонентов группы гуминита (20–40 %) и высокое содержание микрокомпонентов группы инертинита (25–35 %). Исследования микроструктуры и количественного соотношения органических микрокомпонентов в очагах самовозгорания углей показали, что более всего в них содержится витринита – в среднем 40 %. Микрокомпоненты группы инертитинита составляют 30,5 %, что превышает среднее содержание по бассейну. Фюзенизированные микрокомпоненты образуют в угле линзы и прослойки, а также встречаются в виде отдельных фрагментов включенных в основную массу. Эти данные подтверждают выводы о влиянии на самовозгорание подмосковных углей инертинита при высоком его содержании в угле. Высокое содержание его характерно и для углей других опасных по самовозгоранию место-

рождений: в среднем составляет 20–30 %, максимально – 40 % (Смолодинское месторождение). Для углей в очагах самовозгорания характерно выполнение полости клеток инертита дисульфидами железа (ш. «3-Западная», 30 запас. штрек, пк 51 и др.), которое, как известно, в несколько раз повышает опасность самовозгорания углей.

Газоносность. Подмосковные угли не метаноносны, но по выделению *углекислого газа* (CO_2) исследуемый бассейн занимает лидирующее положение среди бурогольных бассейнов. По мнению разработчиков угольных месторождений Мосбасса повышенное содержание CO_2 является основной причиной подземных эндогенных пожаров. Следует заметить, что этот параметр газоносности, измеряемый в $\text{м}^3/\text{час}$, непостоянен в пространстве и во времени, поэтому применение его для дифференциации углей по степени опасности самовозгорания требует проведения опробования с учетом этих особенностей. Устойчивый параметр *выход летучих веществ* V^{laf} , поскольку в Подмосковном бассейне угли однородны по степени углефикации, имеет несущественную изменчивость – от 42 до 48 %. Поэтому нецелесообразно применение выхода летучих веществ в качестве оценочного фактора самовозгорания углей.

Степень метаморфизма. Особенностью гумусовых углей Подмосковного бассейна является низкая степень метаморфизма (группа 2Б) при весьма древнем возрасте – C_1 . Поэтому гумусовые угли Подмосковного бассейна по степени метаморфизма в целом отнесены к весьма склонным к самовозгоранию.

Кузнецкий бассейн многие десятилетия является одним из основных полигонов для исследования самовоз-

горания углей, разработки и опробования методик прогноза и ликвидации подземных пожаров. Это связано, во-первых, с большим объемом добычных работ, ведущихся на месторождениях бассейна, во-вторых, с весьма сложными условиями залегания и тектонической нарушенностью угольных пластов, обуславливающих самовозгорание углей. Эти причины обусловили лидирующее в России положение бассейна по самопроизвольному возгоранию углей.

Распределение пожаров по угленосным районам в Кузбассе весьма неравномерно: приблизительно 80 % пожаров приходится на Прокопьевско-Киселевский район, 10 % – на Кемеровский и 10 % – на другие районы. В Прокопьевско-Киселевском районе почти 100 % зарегистрированных пожаров возникает от самовозгорания углей, в других районах преобладают пожары от других причин, что обусловлено в основном различиями в геологическом строении районов.

Мощные пласты каменного угля этого района в верхних горизонтах когда-то очень давно уже горели. В результате этих древних пожаров образовались массы горелых пород, которые слагают скалистые вершины холмов Прокопьевско-Киселевского района.

Кузбасс является классическим примером влияния повышенной *мощности угольного пласта* на самовозгорание углей. Мощные пласты этого месторождения разбиты густой сетью разрывов, в результате которых весь пласт или отдельные слагающие его пачки угля пронизаны трещинами различных направлений, что является причиной повышенной окислительной активности углей. Из пяти исследованных в горных выработках участков угольного пласта, где были отмечены

случаи самовозгорания углей, мощность в четырех случаях колебалась от 4,0–4,5 до 10,0–11,0 м. В бассейне обнаружена четкая корреляционная связь между мощностью угольных пластов и микрокомпонентным составом углей. Примером может служить пласт Горелый, который на шахте «Центральная» относится к малоопасным по самовозгоранию при мощности 3,5 м, содержит инертинита 24,9 %, витринита 62,8 %. На шахте им. Калинина этот пласт относят к опасным по самовозгоранию при мощности 6,5 м, содержанию инертинита 32,3 %, витринита 52 %.

В Кузбассе установлен широкий диапазон геотермических градиентов, обусловленных в значительной мере глубиной залегания угольного пласта. Температурный градиент колеблется от 1,6 до 4,3 °С/100 м в зависимости от приуроченности угленосной толщи к тектоническим структурам. Следовательно на глубине 800–900 м температура углей может достигать критических по самовозгоранию значений. На шахте «Центральная» глубиной 360 м разрабатывается наиболее опасный по самовозгоранию пласт «Мошный». В этом пласте за 14-летний период произошло 89 пожаров. Другой опасный по самовозгоранию пласт «Внутренний» (87 пожаров) разрабатывается на ш. Коксовая на глубине 350 м. С пластом «Характерный» (менее 50 м) связано за этот же период всего 4 пожара.

Анализ строения угольных пластов в Кузбассе показал, что поскольку угли низкосернистые, а с увеличением породных прослоев уменьшается процентное содержание инертинита, то основным аспектом влияния на самовозгорание углей является неустойчивость сложно построенных пла-

стов. Пласты сложного и умеренно сложного строения преобладают в отложениях кольчугинской серии. По статистике большинство пожаров приурочено к мощным пластам, которые, как правило, сложное строение. Так, пласты Горелый, Мошный и Характерный к северу района разделяются на несколько пачек.

Вмещающие породы в бассейне сложены в различной мере трещиноватыми глинистыми породами: алевролитами, аргиллитами и углистыми аргиллитами мощностью от 2–3 до 5–6 м, выше и ниже которых расположены более мощные и менее трещиноватые слои песчаников и других пород. В районах со сложным тектоническим строением на устойчивость вмещающих пород существенно влияет степень их нарушенности. Неустойчивой у некоторых пластов является лишь непосредственная кровля или почва на мощность 0,1–0,3 м. Чаще это наблюдается у пластов IV и I Внутренних, Лутугинских, Прокопьевских, Спорного и Садового. Слабой устойчивостью почти повсеместно характеризуется почва пластов Характерного и местами Горелого, сложенная монолитными песчаниками и конгломератами.

Важнейшая особенность геологического строения Кузнецкого бассейна состоит в преобладании *крутого падения угольных пластов*. За 4-летний период в пластах с углом падения более 45° отмечено 87 % пожаров от самовозгорания углей. В пределах поля шахты им. Калинина пласт «Горелый» на западном крыле IV синклинали имеет углы падения 70–85°. На участке Нулевой синклинали пласты Прокопьевский, Мошный, Безымянный на крыльях складки имеют углы наклона 45° и 60°. В случаях самовозгорания в ненарушенных

угольных пластах (пласты Безымянный, Прокопьевский участка Новосергеевский 5–6) В этих случаях значение крутопадающих пластов как фактора самовозгорания углей приобретает определяющее значение.

Интенсивной *тектонической нарушенностью* характеризуется наиболее опасный по самовозгоранию Прокопьевско-Киселевский район, где каждые три из пяти эндогенных пожаров отмечены в тектонически нарушенных участках угольного пласта. Например, при отработке пласта Пятилетка в ш. № 5–6 самовозгорание угля произошло на участке, осложненном серией поперечных и диагональных дизъюнктивов. В пласте Мощном на ш. «Коксовая I» самовозгорание произошло в зоне крупного нарушения сбросового характера, разбитого мелкими поперечными и диагональными нарушениями. В бассейне отмечено повышение склонности к самовозгоранию в местах раздутья, пережимов и взбросов угольного пласта.

Влажности, как фактору самовозгорания углей, в Кузнецком бассейне не было уделено достаточного внимания. Кроме того, как общая, так и аналитическая влага не имеют в кузнецких углях высоких и контрастных значений

Влияние *зольности и минерального состава* на самовозгорание углей в бассейне также не оценивалось. Г.Л. Стадников, исследовавший самовозгорание углей в горных выработках и породных отвалах Кузнецкого бассейна, пришел к выводу, что способностью самовозгораться обладают не сами каменные угли, а углистые аргиллиты. Однако, случаи подземных пожаров от самовозгорания углей в пластах простого строения и обнаружение центров самовозгорания непо-

средственно в угольном веществе опровергают теорию Г.Л. Стадникова.

Из статистических данных вытекает, что угли Кузнецкого бассейна по фактору «*сернистость*» не самовозгорающиеся. Содержание общей серы в Кузнецком бассейне низкое и в соответствии с классификацией, являются малосернистыми. В наиболее опасном по самовозгоранию пласте Мощном содержание общей серы не превышает 0,9 % (в среднем 0,3 %).

Было установлено, что изменение степени склонности угля к самовозгоранию по простиранию пласта в Прокопьевско-Киселевском районе связано с изменением его *петрографического состава*. В зоне с повышенной склонностью к самовозгоранию уголь содержит меньше витринита и больше инертинита и семивитринита, чем в зоне с пониженной склонностью. Так, на шахте «Центральная» уголь пласта Горелый – малоопасный и содержит 52 % витринита, 32,3 % инертинита и 8,8 % семивитринита.

Газоносность в угленосных толщах Кузбасса связана преимущественно с метаном – до 96 %. опыты показали, что уголь верхней части крутопадающего пласта, не содержащий метана, значительно активнее по отношению к кислороду, чем уголь глубоких горизонтов, насыщенный метаном. Наиболее отчетливо это проявляется у пласта Мощного, у которого химическая активность на глубине 200 м в два раза ниже, чем на глубине 50 м. Экспериментально было установлено, что метан в этом пласте препятствует сорбции кислорода и окислению угля.

Было установлено, что изменение степени склонности угля к самовозгоранию по простиранию пласта не связано с изменением *степени метаморфизма*. Например, уголь пласта Мощного в пределах поля шахт «Цен-

тральная» и «Коксовая» более метаморфизованный (V^{daf} 15–17 %) и более склонен к самовозгоранию, чем в поле шахты «Манеиха», где он менее метаморфизованный (V^{daf} 20–22 %) и менее склонен к самовозгоранию.

Донецкий бассейн. Эндогенная пожароопасность в Донецком бассейне не так высока, как в Кузнецком, что обусловлено в первую очередь геологическими условиями залегания угольных пластов и качеством углей. Однако, газо- и пылеобильность угольных пластов, склонных к самовозгоранию, делают рудничные пожары особо опасными, т.к. последние могут сопровождаться взрывами газа и угольной пыли.

Более всего таких пожаров возникает в центральной части бассейна (в пределах Главной антиклинали) – 40 % от общего числа.

Химическая активность донецких углей в основном уменьшается с увеличением степени метаморфизма. В центральной части степень метаморфизма постепенно увеличивается от марки Г до марки Т. Соответственно химическая активность уменьшается от 0,06 до 0,015 мл/г·час.

Статистические исследования показывают, что с увеличением *мощности пластов* в Донецком бассейне повышается склонность угольных пластов. Больше половины пожаров от самовозгорания углей сосредоточено в Донбассе в угольных пластах мощностью более 1,2 м.

По данным А.В. Васяковой критическая минимальная величина мощности угольного пласта, контролирующая отсутствие или очень незначительную эндогенную пожароопасность угольных пластов Донбасса составляет 0,8 м, что обусловлено, главным образом, составом минеральных примесей в углях. А.В. Васякова объясняет это высо-

ким содержанием в них полиморфной модификации дисульфида железа – марказита.

При установлении склонности углей Донбасса к самовозгоранию в соответствии с методикой ВНИИГД устанавливалась критическая по самовозгораемости мощность пачки или прослойка угля.

Глубина залегания угольного пласта. Разработка углей в Донбассе ведется на глубинах 400–800 м, а в ряде шахт – 1000 и 1250 м. В этих условиях важное значение в процессе самовозгорания этих углей приобретает геотермический градиент, который составляет 2,5 °С/100 м. Полученные данные исследования теплового режима в горных выработках показывают, что геотермический градиент с глубиной повышает температуру угля до критической по самовозгоранию величины.

Строение угольного пласта. В Донбассе установлено, что пласты как простого, так и сложного строения могут быть в равной степени склонны и не склонны к самовозгоранию. Так, пласт Девятка Центрального района бассейна имеет весьма сложное строение, но уголь его менее склонен к самовозгоранию, чем уголь пласта Мазурка простого строения. Пачки угля, имеющие макроскопические отличия, в пластах простого и сложного строения могут иметь различную степень склонности к самовозгоранию. Например, в пласте Андреевском (шахта им. Ворошилова), состоящем из трех отличающихся друг от друга петрографической структурой пачек угля, верхняя пачка относится к «особо опасным», две других – к «неопасным». Особо повышенная опасность самовозгорания отмечается в зоне расщепления сложных угольных пластов, где происхо-

дит частое обрушение кровли при пологом падении угольного пласта или сползание пород при крутом его падении, что ведет к скоплению пожароопасной угольной массы. В Донецком бассейне обычно большая часть пожаров приурочена к зоне расщепления сложных пластов мощностью междупластья до 2,5 м (пласт I₁, шахта «Кременная»; пласт K₈, шахта «Кременная» и др.). Часто наблюдается самовозгорание маломощных пластов после расщепления мощных. Например, в Лисичанском и Алмазно-Марьевском районах 12 эндогенных пожаров из 19, возникших на маломощных пластах (мощностью менее 0,8 м), находятся вблизи зон расщепления.

Вмещающие породы. Установлено, что в Донбассе пласты угля, в кровле и почве которых залегают крепкие трещиноватые породы, более подвержены самовозгоранию, чем имеющие устойчивую, вязкую кровлю и мягкую, пластичную почву. Связано это с тем, что при обрушении крепких пород в оставленных целиках угля образуются большие трещины, через которые поступает воздух. Так, в кровле пласта Рубежного, особо склонного к самовозгоранию, залегают плотные известняки. Предохранительные целики в этом случае разрушаются сильнее, чем на других участках, где кровля имеет низкую крепость.

Угол падения угольного пласта. Статистика указывает на то, что 75 % пожаров от самовозгорания углей в Донецком бассейне возникло в пластах с крутым падением слоев. Это объясняют тем, что при крутом падении в выработанном пространстве в нижней части поля скапливается большое количество мелкого угля от обрушения целиков, оставляемых в выработанном пространстве. Кроме

того, считают, что при крутом падении создаются благоприятные условия для утечки воздуха.

В Восточном Донбассе по углу падения разработана следующая классификация условий самовозгорания:

1. Крутое залегание пластов (более 45°) – наиболее опасные условия.

2. Наклонное залегание пластов (20–45°) – опасные условия.

3. Пологое залегание пластов (менее 25°) – малоопасные условия.

Непосредственные наблюдения в горных выработках дали возможность установить, что большинство очагов самовозгорания при крутом падении пластов зарождается в целиках и очистном забое при обрушении.

Нарушенность. По данным статистики в Донецком бассейне около 90 % пожаров от самовозгорания угля произошло в местах тектонических нарушений.

Исследования показали, что в тектонически нарушенных участках во всех случаях увеличилась степень склонности угля к самовозгоранию по сравнению с углем, не подвергшимся нарушению. Уголь не опасный по самовозгоранию в местах тектонических нарушений становится особо опасным или опасным. Например, пласт Бераль (шахта «Ильич») относится к пластам не самовозгорающим, однако в месте тектонического сброса, при прохождении которого оставленный в выработанном пространстве целик угля деформировался и возник пожар от самовозгорания угля.

Установлено, что для самовозгорающихся пластов очаги эндогенных пожаров имеют кустовое или зональное расположение, чаще всего вблизи крупных разломов или в оперяющих разрывах. Эта особенность обусловлена тем, что в крупных нарушениях угли интенсивно окислены в результате про-

никновения кислорода воздуха по нарушенной зоне. При удалении от них степень окисленности уменьшается, но сохраняется развитая поверхность и газопроницаемость, вследствие чего и возрастает частота случаев эндогенных пожаров. Малоамплитудные трещины и разрывы распределены по площади угольной залежи равномерно, а очаги самовозгорания приурочены непосредственно к малым секущим нарушениям.

Влажность. Ввиду низких значений генетической влажности донецких углей и незначительной изменчивости её параметров этот фактор исследователями не используется. В условиях Донецкого бассейна важную роль в процессе самовозгорания углей играет *обводненность*. Установлено, что интенсивная обводненность вследствие затопления угольных шахт Донбасса и последующая откачка из них воды повышает степень самовозгораемости углей. При восстановлении затопленных выработок в пласте Берестовском в шахте им. Ленина из-за поступления воздуха в выработанное пространство, где имелись целики угля, находившиеся продолжительное время под водой (около 3 лет), произошло самовозгорание, которое было обнаружено по повышению температуры воздуха на 10–15°. Ученые пришли к заключению, что склонность к самовозгоранию угольных пластов увеличивается от присутствия влаги, так как она оказывает химическое и физическое воздействие на развитие процесса самонагрева угля, повышая интенсивность первой.

Зольность. Было показано, что повышенное содержание карбонатов в углях связано с наличием в них устойчивого к окислению пирита, что является характерным признаком не самовозгорающегося угля. А повышенное содержание кальцитовых

конкреций, свидетельствующее о солончатом водном режиме палеоторфяников, может быть признаком угля, способного самовозгораться.

Сернистость Статистические данные, подтвержденные лабораторными исследованиями дисульфидов, однозначно указывают на значимость этого фактора для самовозгорания углей в Донбассе. Была выявлена устойчивая связь дисульфидов железа со склонностью углей к самовозгоранию и установлен характер количественного распределения и фациальной приуроченности дисульфидов железа в пластах углей. Наиболее контрастное распределение дисульфидов прослеживается в пласте k_8 в Лисичанском и Алмазно-Марьевском районах Донецкого бассейна. Более глубокие исследования связи сернистости углей с их самовозгораемостью показали, что нередко в пластах высокосернистых углей со сходными горно-геологическими условиями очаги самовозгорания отсутствуют. Причины этого объясняют существованием полиморфных модификаций дисульфидов – пирита и марказита. Интенсивность окисления зависит от величины удельной поверхности кристаллов и агрегатов. Поэтому ученые делают вывод о наиболее активном влиянии на самовозгорание углей марказита, образующего агрегаты с игольчатой и радиально-лучистой структурой. Однако содержание пирита в исследуемых углях выше, чем марказита: соответственно 75 % и 25 %. Поэтому инициатором самовозгорания донецких углей в большинстве случаев является пирит. Это было подтверждено на примере угольных пластов l_5 и l_6 в Центральном районе бассейна. *Петрографический состав органической части углей.* Зависимость между петрографическим сложением донец-

ких углей и степенью склонности к самовозгоранию была показана в результате исследования петрографического состава по простирацию пластов Центрального района Донецкого бассейна Толстого т₃, Мазурка l₃ (весьма склонных к самовозгоранию) и Александровского k₇ (не самовозгорающегося). Однако отмечены случаи самовозгорания пласта Александровского, что объясняется наличием в нем в месте возникновения пожаров угольных пачек с большим количеством линз инертинита и тонкодисперсного пирита.

Метаноносность Исследование влияния метана на самовозгораемость углей в разных районах Донбасса показали, что содержания остаточного метана и, соответственно, окислительная активность в разных районах различна. Для всех не самовозгорающихся пластов содержание CH₄ более 5 м³/т, а с остаточным содержанием метана менее 5 м³/т самовозгораются. К таковым относятся пласты Первомайского района.

Степень метаморфизма. Статистические данные об эндогенных пожарах Донбасса за 15 лет показали, что

наименьшую склонность к самовозгоранию имеют пласты углей с содержанием углерода 80–82,9 %. Три максимума склонности к самовозгоранию отмечаются у углей с содержанием углерода: 75, 85 и 89 %. При исследовании самовозгорания углей Донецкого бассейна экспериментально было установлено, что критическая температура возгорания является в функции степени метаморфизма угля. С нарастанием степени метаморфизма повышается его критическая температура. Угли длиннопламенные и газовые имеют наиболее низкие критические температуры, а тощие и антрациты – наиболее высокие.

Установлено, что максимальное количество самовозгорающихся углей приходится на длиннопламенные разновидности, несколько меньше – на жирные, коксовые, отошенно-спекающиеся, тощие и минимальное количество – в углях газовых и газожирных. Эта закономерность была установлена в результате анализа данных по самовозгоранию углей и показателей метаморфизма: показателя отражения витринита R⁰ и выхода летучих веществ V^{daf}.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Геология месторождений угля и горючих сланцев СССР.* – Т. 1–12. – М.: Госгеотехиздат, 1962–1969.

2. *Голынская Ф.А.* Геологические факторы самовозгорания углей в пластах южного крыла Подмосковного бассейна // Дисс.

на соиск. уч. степ. канд. геол.- минер. наук: М., МГУ, 1997. – 190 с.

3. *Каталог углей СССР, склонных к самовозгоранию.* / Н.И. Линденау, В.М. Маевская, Е.С. Вахрушева и др. – М.: Недра, 1982. – 416 с. **ГИАБ**

Коротко об авторе

Голынская Ф.А. – аспирантка кафедры Безопасности жизнедеятельности и гражданской обороны,
Московский государственный горный университет,
Moscow State Mining University, Russia, ud@msmu.ru

