**УДК 622.411.3; 622.831; 622.272.6**

# АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ С ЦЕЛЬЮ ПРОГНОЗА АНОМАЛЬНЫХ ЗОН

К.С. Коликов, заведующий кафедрой Безопасность и экология горного производства Горного института НИТУ МИСиС, доцент, д.т.н.,
Н.В. Ледяев, начальник управления по противоаварийной устойчивости предприятий Технической дирекции АО «СУЭК-Кузбасс»,
А.А. Черухин, зам. главного инженера по вентиляции ш. им. С.М. Кирова АО «СУЭК-Кузбасс»,
М.О. Шенгерий, аспирант НИТУ МИСиС

Повышение интенсивности ведения горных работ, широкое применение системы «шахта-лава» приводит к необходимости кардинального повышения безопасности, которого невозможно добиться без обеспечения достоверного прогноза зон опасных по газодинамическим явлениям и газовыделению в горные выработки.

В основном различные методы анализа горно-геологических условий применяются для прогнозирования и выделения зон, опасных по проявлениям газодинамических явлений. В основе большинства из них лежит прямая или косвенная оценка свойств и состояния угольных пластов и вмещающих пород – газоносности, скорости газоотдачи, физико-механических свойств, напряженно-деформированного состояния и т.д.

Систематическое изучение горно-геологических условий начато после первого выброса угля и газа, который произошел в Донбассе в 1906 году при вскрытии пласта на глубине 728 м от дневной поверхности. И в дальнейшем изучение горно-геологических условий было в основном связано с вопросами выбросоопасности.

К работам, появившимся в 30-е годы, в которых рассматривались вопросы связи внезапных выбросов с особенностями углевмещающего массива, относятся первые результаты исследований связи частоты и силы выбросов с метаморфизмом углей, природной газоносностью и трещиноватостью угольных пластов, влияния на проявления выбросов эндогенной трещиноватости и нарушенности угольных пластов, влияния на интенсивность выбросов упругих свойств пород кровли и почвы [1]. На основе первых результатов исследований условий возникновения внезапных выбросов угля и газа были разработаны и опробованы меры по снижению выбросоопасности угольных пластов путем нагнетания в пласт воды под давлением [2], бурения опережающих скважин большого диаметра [1], разработки защитных пластов [3] и ряд других.

Последний период, несмотря на то что проблема выбросов угля и газа в условиях интенсивного роста добычи имела важное народнохозяйственное значение, не характеризуется существенным прогрессом в разработке методов

и способов предупреждения газодинамических явлений в шахтах. На втором Всесоюзном совещании по внезапным выбросам угля и газа, состоявшемся в 1951 году, была принята широкая программа научно-исследовательских работ и определены основные направления ее решения. Впервые было определено принципиально новое направление исследований – изучение геологических показателей выбросоопасности угольных пластов с целью как познания природы внезапных выбросов угля и газа, так и выявления возможностей заблаговременного их прогноза. В основу решения задач этого направления исследований была положена концепция А.А. Скочинского о том, что основными факторами, обусловливающими внезапные выбросы угля и газа, являются горное давление, давление газа и физико-механические свойства угольных пластов [4].

Основные задачи изучения геологических условий заключались в исследовании тектонической структуры, разработке классификаций различных тектонических нарушений, определении природной газоносности и основных факторов, определяющих распределение газов в угленосной толще, в установлении особенностей состава и строения выбросоопасного угольного пласта и вмещающих пород.

И уже к середине 60-х годов был выполнен обширный комплекс исследований, в результате которых были освещены некоторые вопросы геологических условий проявления выбросов. В ряде работ этого периода были предложения по использованию в целях прогноза внезапных выбросов геологических [5, 6, 7, 8, 9, 10] и геофизических показателей выбросоопасности угольных пластов [11, 12, 13]. Однако отсутствие систематических и комплексных исследований геологических факторов выбросоопасности и увлечение решением частных эмпирических задач не привели к разработке теоретических основ прогнозирования условий возникновения внезапных выбросов угля и газа в шахтах.

На Пятом Всесоюзном научно-техническом совещании в 1966 году отмечалось, что одной из причин медленного внедрения методов и способов локального и текущего прогноза и предупреждения газодинамических явлений в шахтах является отсутствие в отрасли методического документа по прогнозу выбросоопасности угольных пластов по геологоразведочным данным. Одной из важнейших была признана задача исследования геологической обстановки проявления выбросов угля и газа, выявления особенностей выбросоопасных угольных пластов в целях разработки заблаговременных (региональных) способов борьбы с выбросами.

Возможность регионального прогноза выбросоопасности угольных пластов и пород на стадии геологической разведки отмечалась еще в первых работах [1, 5, 8] и в ряде последующих [14, 15]. Для отдельных районов Донбасса были составлены региональные прогнозы по таким признакам угольных пластов, как степень метаморфизма углей, зональность в распределении физико-механических свойств пласта в пределах складчатых и

других тектонических структур, трещиноватость, литологическая или фациальная принадлежность вмещающих пород и по ряду других признаков.

Согласно [14] выбросоопасность пород, вмещающих угольные пласты Донбасса, связана с условиями их образования и, следовательно, прогноз выбросов пород и газа можно осуществлять на основе исследования фациальных условий осадконакопления.

Предлагается проводить прогноз внезапных выбросов песчаников не только по признаку фациальной принадлежности, но и с учетом аномальных напряжений в массиве, причиной которых являются гравитационные силы и давление газа в породах [14, 16]. Известны работы [17], в которых рассматривается связь выбросов угля и породы с проявлением современных тектонических движений.

В последние 20 лет перспективным направлением в разработке методов прогноза внезапных выбросов было разработанное в ИГТМ НАНУ комплексное направление в изучении геологических условий и факторов выбросоопасности угольных пластов и пород и реализованное на ряде шахт Донбасса [18]. В работе [19] для условий Карагандинского бассейна предложена методика прогноза выбросоопасности угольных пластов по комплексу показателей, характеризующих глубину отработки, давление газа, скорость газоотдачи, прочность и вещественный состав углей, слагающих пласт.

К недостаткам методик этого направления исследований выбросоопасности угольных пластов, в силу которых они не получили широкого применения, нужно отнести:

- стремление на основе односторонних представлений о природе и механизме выбросов выполнить прогноз всех форм проявления газодинамических явлений;
- введение комплексного показателя выбросоопасности, который привел к потере информации по отдельным факторам, в том числе по существенно важным;
- недостоверность ряда показателей, полученных по данным геолого-разведочных скважин;
- интерполирование в межскважинном пространстве значений некоторых показателей без учета закономерности изменчивости этих показателей.

Практика отработки угольных пластов показывает наличие зон аномального газовыделения, которые имеют геологическое или техногенное происхождение. Аномальные зоны газоносности, как правило, приурочены к тектоническим нарушениям, которые могут обеспечивать условия, как дегазации пласта, так и аккумуляции метана. Для повышения эффективности дегазации и безопасности ведения горных работ важное значение имеет в первую очередь прогноз зон повышенного газовыделения. При оценке потенциальной газоотдачи угольных пластов определяющими являются газоносность и газопроницаемость углей, которая во многом зависит от напряженно-деформированного состояния пласта. Газоносность и кинетика

газоотдачи угля определяются такими факторами, как степень метаморфизма, глубина залегания, петрографический состав, горно-геологические условия.

В пределах шахтного поля и тем более одной лавы степень метаморфизма, глубина залегания и петрографический состав достаточно стабильны. Поэтому из факторов, определяющих неравномерность газовыделения, наиболее важными, на наш взгляд являются горно-геологические условия.

Характер влияния крупных нарушений может быть оценен на основе анализа газообильности подготовительных выработок на вышезалегающих пластах или горизонтах. Однако для корректной оценки необходим учет напряженно-деформированного состояния углепородного массива. Для этого целесообразно применять методы геодинамического районирования [17]. Следует отметить, что зоны повышенного газовыделения наблюдаются и в отсутствии тектонических нарушений. В этом случае задача прогнозирования зон повышенного газовыделения фактически трансформируется в задачу выделения зон повышенной проницаемости угля. Проницаемость угольных пластов в основном определяется их трещиноватостью, которая формируется как в процессе генезиса углей, так и в результате тектонической и других видов деятельности.

Эндогенная трещиноватость определяется содержанием витринита и степенью метаморфизма, поэтому в пределах шахтного поля не позволяет выделить зоны повышенного газовыделения. В связи с этим с нашей точки зрения наибольший интерес представляют способы, позволяющие выделить трещиноватость второго типа. Неоднократно отмечалось, что песчаники, являясь более прочными в сравнении с другими породами кровли и почвы, концентрируют напряжения в массиве [20, 21]. Влияние прочных пород на трещинообразование и напряжения в пласте определяет в итоге неравномерное распределение и выделение газа.

Большое влияние также оказывает малоамплитудная и пликативная нарушенность, которые не выявляются геологоразведочными работами. Их идентификация возможна геофизическими методами, которые являются достаточно трудоемкими, дорогостоящими и требуют определенных горнотехнических условий. При этом надежность прогноза оставляет желать лучшего.

Кроме того, все процессы, происходящие в угольных пластах и вмещающих породах, отражаются на мощности пластов [20, 22]. Изменения мощности следует рассматривать с двух позиций. Во-первых, с точки зрения условий угленакопления, во-вторых, как результат разрывных и пликативных нарушений:

- утолщение пластов при приближении к разрывному нарушению типа сбросов утонением у самого сместителя;
- изменением мощности в связи с подворотом пласта у разрывного нарушения типа надвигов, взбросов со значительными амплитудами смещения крыльев;

– увеличением мощности в замковой части и уменьшением на крыльях различных складок, флексурных изгибов.

Зоны повышенной трещиноватости чаще всего приурочены к складкам антиклинального характера [21, 23] и зонам мелкоамплитудной нарушенности.

В связи с этим с нашей точки зрения наибольший интерес представляют способы, позволяющие выделить трещиноватость второго типа. К этим способам следует отнести: геодинамическое районирование; методы морфоструктурного анализа; оценку геомеханических и газодинамических свойств; по геологоразведочным и геофизическим данным; теорию флюидизации; сейсмоакустические методы.

В последние годы интенсивно развивается как самостоятельная отрасль науки геодинамика недр, которая включает в себя теорию толчкообразного деформирования горного массива; метод геодинамического районирования и комплекс мер по управлению состоянием горного массива для эффективного освоения недр земной поверхности.

Управление горным и газовым давлением в горном массиве обеспечивает решение вопросов безопасности и эффективной разработки месторождений на больших глубинах. Наиболее полно это можно достигнуть, если изучать строение массива, оценивать и прогнозировать напряженность и газодинамическое состояние в нем с помощью применения метода геодинамического районирования. Метод находит применение во всех отраслях, занятых в освоении и эксплуатации недр.

Применение метода геодинамического районирования позволяет оперативно давать прогнозную и текущую оценку состояния горного массива, разработать и применять комплекс профилактических мер, обеспечивающий безопасную и экологически чистую разведку и эксплуатацию недр. Это, прежде всего, относится к разведке и эксплуатации подземных и наземных народнохозяйственных объектов (градостроительство, атомные и гидростанции, железные дороги, трубопроводы и др.), эффективному своевременному решению вопросов экологии и охраны окружающей среды, в том числе по направлению добычи метана на угольных месторождениях.

Метод геодинамического районирования позволяет [17]:

– выявить блочную структуру в горном массиве и активные разломы, представляющие опасность для горных выработок, зданий и других объектов. Выявление блочной структуры и активных разломов в районе объекта осуществляется, прежде всего, на основе анализа рельефа земной поверхности, а затем уточняется с привлечением имеющихся геологических и геофизических данных, космических и аэроснимков, а также других материалов;
– выявить в земной коре тектонически напряженные зоны, освоение недр в которых может быть осложнено;
– разрабатывать профилактические меры по безопасному, экологически чистому и экономичному освоению и эксплуатации недр с учетом результатов геодинамического районирования.

В настоящее время при разведке и разработке нефтяных и газовых месторождений данный способ используется для прогнозного расчета напряженного состояния блочного горного массива, проницаемости, нефтегазонасыщенности пород, влияние зон с аномально высоким пластовым давлением и позволяет: выбрать места и густоту заложения разведочных и эксплуатационных скважин; определять последовательность разведки и отработки месторождения в целях повышения эффективности разведки и нефтеотдачи продуктивных пластов; устанавливать оптимальные условия разгрузки (щелевого вскрытия) прискважинной зоны в целях повышения притоков нефти и газа в 3 – 5 раз и более.

Основным направлением развития теории и методики геодинамического районирования, как основы, геометризации месторождений и других объектов земной коры, по принципу «от общего к частному», с оценкой блочного строения горного массива, его напряженного и газогидродинамического состояния, является продолжение работ по созданию классификации участков земной коры по их напряженности и тектонической активности.

К сожалению, данный подход в условиях угольных месторождений для выявления зон повышенного газовыделения апробирован слабо.

Оценка геомеханических и газодинамических свойств является модификацией ранее разрабатывавшейся программы по оценке выбросоопасности угольных пластов на основе результатов геологоразведочных и геофизических работ [24].

На основе установленных экспериментальных зависимостей между показателем кавернометрии и физико-механическими свойствами углей, устанавливаемых в ходе геологоразведочных работ, определяются прочность угля, его коэффициенты газоотдачи и газопроницаемости.

Возможность выделения зон повышенной газоотдачи и оценки их размеров определяется количеством и качеством исходной информации. Так, при наличии информации по 40-50 скважинам одного шахтного поля усреднение значений газоносности и газопроницаемости производится в 50-метровых интервалах глубин.

Шаг оценки газопроницаемости составляет 0,1 мД.

Апробация данного метода в условиях шахт им. В.И.Ленина, «Саранская» (участок б.ш."Сокурская"), им.Костенко (участок б.ш."Стахановская") не позволила однозначно выделить зоны повышенного газовыделения в первую очередь из-за недостаточного объема исходной информации, т.к. кавернометрия на ранее бурившихся геологоразведочных скважинах не проводилась.

В настоящее время проводятся исследования по оценке способности к газоотдаче углей. Ускорить отработку способа возможно за счет дополнительной оценки прочностных и газодинамических свойств углей непосредственно в забоях горных выработок, что позволит получить более подробную информацию по объекту и при наличии протяженных зон повышенной газопроницаемости выделить их. Данная информация

представляет, с нашей точки зрения, интерес не только в вопросах заблаговременного извлечения угольного метана, но и для оптимизации параметров предварительной и текущей дегазации.

Направление прогноза зон повышенного газовыделения с использованием основ теории флюидизации наибольшее развитие и распространение получило в Северно-Кавказском Центре (СКЦ) ВШ РФ. Было установлено, что на участках угольных пластов, подвергшихся процессам углеводородной флюидизации и метасоматоза в зонах тектонических нарушений наблюдаются закономерные изменения вещественного состава, молекулярной и надмолекулярной структуры углей, а также соотношений отмеченных форм консервации флюидов, что приводит к формированию специфической зональности практически всех свойств угля при подходе к выбросоопасным зонам и зонам повышенного газовыделения.

По периферии таких зон образуется "пояс бронирования", состоящий из плотного, слабопроницаемого угля с повышенным содержанием инертенитовых микрокомпонентов и полиядерных высокоуглеродных надмолекулярных построек, в которых флюидные компоненты находятся преимущественно в виде твердогазовых растворов внедрения и клатратных соединений-включений.

В самих очагах выброса, напротив, органическое вещество угля интенсивно диспергированно, имеет микропористую структуру и тонко-мозаичную текстуру с большим количеством трещин и флюидных включений размерностью от долей микрона до долей миллиметра, в которых сосредоточена основная масса газовых компонентов системы "уголь-газ" (флюид). В составе летучих, экстрагируемых из углей этих зон, отмечается повышенные содержания водорода, этилена, этана, сероводорода, оксидов углерода и тяжелых углеводородов, а также появление ацетилена и других непредельных углеводородов. По-видимому, в данном случае можно говорить не только о перераспределении флюидных компонентов и системе "уголь-газ" вблизи зон тектонических нарушений, но и о весьма интенсивных процессах физико-химического преобразования и структурной перестройки органического и неорганического вещества углей при воздействии на них тепловых и флюидных потоков, которые приводят в конечном итоге к появлению ряда аномальных, в том числе выбросоопасных, свойств угля.

Для выделения рассматриваемых зон необходима информация по тектонике участка и содержанию в угле Ca, Mn, Ba и других компонентов, которое определяется в ходе геохимических исследований месторождения. Данная информация по большинству шахтных полей бассейна либо недостаточно подробна, либо отсутствует.

Сейсмоакустические исследования достаточно успешно применяются в газовой промышленности и позволяют выделить зоны с повышенной пористостью (~10%) и содержанием газа. Наиболее широко распространена сейсмическая разведка профилями с двухмерным отображением результатов. Стоимость данного способа определяется величиной профиля и исчисляется

десятками тысяч долларов. В последнее время получили развитие способы, обеспечивающие трехмерную интерпретацию полученных данных. Их надежность и разрешающая способность значительно выше, однако стоимость составляет уже сотни тысяч долларов.

В условиях угольных месторождений перспективы этого способа, с нашей точки зрения, связаны с комплексным подходом, предусматривающим использование сейсморазведки, в первую очередь для выявления нарушенности угольных пластов в интересах повышения эффективности и безопасности горных работ с последующим анализом данных для выявления зон повышенной газоотдачи.

Однако этот способ имеет ряд ограничений по горно-геологическим условиям. Так в массиве должны отсутствовать отработанные пласты или срок их отработки должен превышать 10-15 лет.

Кроме того, существующие методики выделения зон повышенной проницаемости не адаптированы для условий угольных месторождений, пористость которых значительно ниже, что автоматически снижает его надежность и достоверность.

Анализ состояния и тенденций развития угольной промышленности показывает, что для повышения безопасности ведения горных работ необходимо применять и развивать методы анализа горно-геологических условий залегания разрабатываемого угольного пласта для выявления зон опасных по газодинамическим явлениям и метановыделению в горные выработки.

Список литературы:

1. Печук И.М. Результаты наблюдений за внезапными выделениями на шахтах Донбасса за 1933-1935 гг. // Труды ВУГИ, 1936.
2. Предварительное увлажнение угольных пластов (под ред. Торского П.Н.).-М.: Недра, 1974.- 164с.
3. Петухов И.М., Линьков А.М., Фельдман И.А., Кузнецов В.П., Тетеревенков В.В. Защитные пласты. –Л.: Недра, 1972. –423с.
4. Скочинский А.А. Главнейшие задачи в области борьбы с внезапными выбросами угля и газа и основные направления работ АН СССР в этой области. // Материалы совещания по внезапным выбросам. –М.: 1952. –С.5-10.
5. Бовсуновская А.Я. Исследование зональности внезапных выбросов угля и газа на крутых пластах Донбасса // Техника безопасности, охрана труда и горноспасательное дело, 1967. -№6. –С.13-14.
6. Бовсуновская А.Я. Связь внезапных выбросов угля и газа со вторичной складчатостью на крыльях главной антиклинали. // Уголь Украины, 1968, -№11. –С.35-37.
7. Кравцов А.И. Геологические условия возникновения выбросов угля и газа. –М.: 1962. –С.591-597.
8. Ходот В.В. Внезапные выбросы угля и газа. - М.: Госгортехиздат, 1961. - 363 с.
9. Ходот В.В. Региональные меры борьбы с внезапными выбросами угля и газа // Уголь. 1973. -№ 3. –С.59-61.
10. 195 - Чернов О.И., Пузырев В.И. Прогноз внезапных выбросов угля и газа. -М.: Недра, 1979.-296 с.
11. Иванов Б.М. Приближенный метод определения выбросоопасности угольных пластов. // Уголь, 1961. -№9. –С.50-53.
12. Малышев Ю.Н., Трубецкой К.Н., Айруни А.Т. Фундаментально-прикладные методы решения проблемы метана угольных пластов. -М.: Изд-во АГН, 2000. -519с.
13. Малышев Ю.Н., Айруни А.Т., Худин Ю.Л., Большинский М.И. Методы прогноза и способы предотвращения выбросов газа, угля и пород. –М.: Недра, 1995. –352с.
14. Николин В.И., Меликсетов С.С., Беркович И.М. Выбросы породы, угля и газа. –М.: Недра, 1967, -80с.
15. Фейт Г.Н. Вероятность внезапных выбросов угля и газа в различных горногеологических условиях / Внезапные выбросы в угольных шахтах. –М.: Недра, 1970. –С. 206-213.
16. Николин В.И., Баличенко И.И., Симонов А.А. Борьба с выбросами угля и газа в шахтах. М.: Недра, 1981. –300с.
17. Петухов И.М., Батугина И.М. Геодинамика недр. –М.: Недра, 1996. –217с.

18. Забигайло В.Е. Геологические основы теорий прогноза выбросоопасности угольных пластов и горных пород. –Киев: Наукова думка, 1978. –164с.

19. Инженерные методы расчета параметров региональных способов предотвращения внезапных выбросов угля и газа. Методические рекомендации. - Кемерово: ВостНИИ. 1986.

20. Иофис М.А. Научные основы управления деформационными и дегазационными процессами при разработке полезных ископаемых. –М.: ИПКОН АН СССР, 1982. – 230с.

21. Букринский В.А., Михайлова А.В. Изучение связи трещиноватости с тектоническими структурами горных пород. М. МИРЭиГЭ, 1963. –98с.

22. Методика прогноза горно-геологических условий выбросоопасных угольных пластов. - Караганда: 1989.-70 с.

23. Метанообильность шахт Карагандинского бассейна / Кизряков А.Д., Хакимжанов Т.Е., Хегай Г. –Алма-Ата: Наука, 1983. –185с.

24. Физико-химия газодинамических явлений в шахтах/ Ходот В.В., Яновская М.Ф., Премыслер Ю.С. и др. -М.: Недра, 1973. -139с.

25. Somerton, W. H., Soylemezoglu, I.M., and Dudley, R.C. // Effect of Stress on the Permeability of Coal // Intl. J. Rock Mechanics Mineral Science and Geomechanics Abstracts (1975) 12, pages 129-145

26. Chena Z, Panb Z, Liua J,Luke D. Connellb, Elsworthc D.// Effect of the effective stress coefficient and sorption-induced strain on the evolution of coal permeability: Experimental observations // International Journal of Greenhouse Gas Control, Volume 5, Issue 5, September 2011, Pages 1284–1293

27. Wang G.X., Massarotto P., Rudolph V. // An improved permeability model of coal for coalbed methane recovery and CO2 geosequestration // International Journal of Coal Geology, No.77 (2009), pages 127–136.

28. Bo Li, Jianping Wei, Kai Wang, Peng Li, Ke Wang // A method of determining the permeability coefficient of coal seam based on the permeability of loaded coal // International Journal of Mining Science and Technology : Volume 24, Issue 5, September 2014, Pages 637–641.

29. Zhongwei Chena, Jishan Liua, Zhejun Panb, Luke D. Connellb, Derek Elsworthc // Influence of the effective stress coefficient and sorption-induced strain on the evolution of coal permeability: Model development and analysis // International Journal of Greenhouse Gas Control: Volume 8, May 2012, Pages 101–110