

К ВОПРОСУ СОСТОЯНИЯ СИСТЕМЫ “УГОЛЬ-ГАЗ” В УСЛОВИЯХ БОЛЬШИХ ГЛУБИН

Розглянуто гіпотезу вуглеводневого стану системи “вугілля-газ” та зони проявлення трансформації твердих вуглеводнів у геологічній товщі. Встановлені граничні кути зони проявлення техногенної трансформації, характер розвитку максимальних деформацій і гранична лінія фазового переходу “тверде-газоподібне” у твердих вуглеводнях.

TO THE QUESTION CONDITION OF SYSTEM "COAL-GAS" IN A CONDITIONS OF LARGE DEPTHS

The hypothesis of coal-hydrogen condition of system "coal - gas" and zone developing of transformation solid coal-hydrogens in geological thick was considered. The border angles zone developing of technogen transformation, the character development of maximum deformations and border line of phase passage “solid-gas-similar” in the solid coal-hydrogens was established.

В результате угольного генезиса и длительной стадии метаморфизма углерод во взаимосвязи с водородом и кислородом образует сложные нефтегазовые и углегазовые соединения. Однако до настоящего времени эти соединения рассматриваются не как единая природная система, а как результат взаимодействия двух составляющих. В нефтегазовых месторождениях - жидкого и газообразного, а в углегазовых – твердого и газообразного.

Наиболее сложными и проблематичными являются исследования системы “уголь-газ”. Несмотря на значительное их количество, взаимодействие твердых и газообразных углеводородов по-прежнему представляет загадку природы.

Сложность решения проблемы метана при разработке углегазовых месторождений заключается в том, что исследования взаимодействия угля и газа осуществляются на уже трансформированных образцах. В соответствии с фундаментальными исследованиями [1] угольное вещество через три часа теряет метан и приобретает новое молекулярное строение. Поэтому информации о природном состоянии системы “уголь-газ” нет ни у кого, есть только гипотезы, которые не имеют никакого отношения к упомянутой системе и на основании которых складывается ложное впечатление о углегазовом состоянии массива. До настоящего времени аналога существующей в условиях больших глубин природной системы “уголь-газ” в лабораторных условиях не создано.

Рост уровня знаний о состоянии природных твердых углеводородов происходит по мере углубления горных работ, что, в конечном итоге, приводит к формированию нового научно-технического обоснования взаимодействия твердых и газообразных соединений в углегазовой системе.

Рассмотрим результаты исследований угольного вещества [1], на основании которых установлена его физическая структура. Первичные структурные элементы углей – кристаллиты (17–45 Å) и более крупные элементы – мицеллы (45–10³ Å), а также дефекты структуры угля создают в угольном веществе макромолекулы и блоки макромолекул. Набор этих составляющих определяет сложную

молекулярную микропористую физическую структуру угля с надмолекулярной организацией, представленную на рисунке 1.

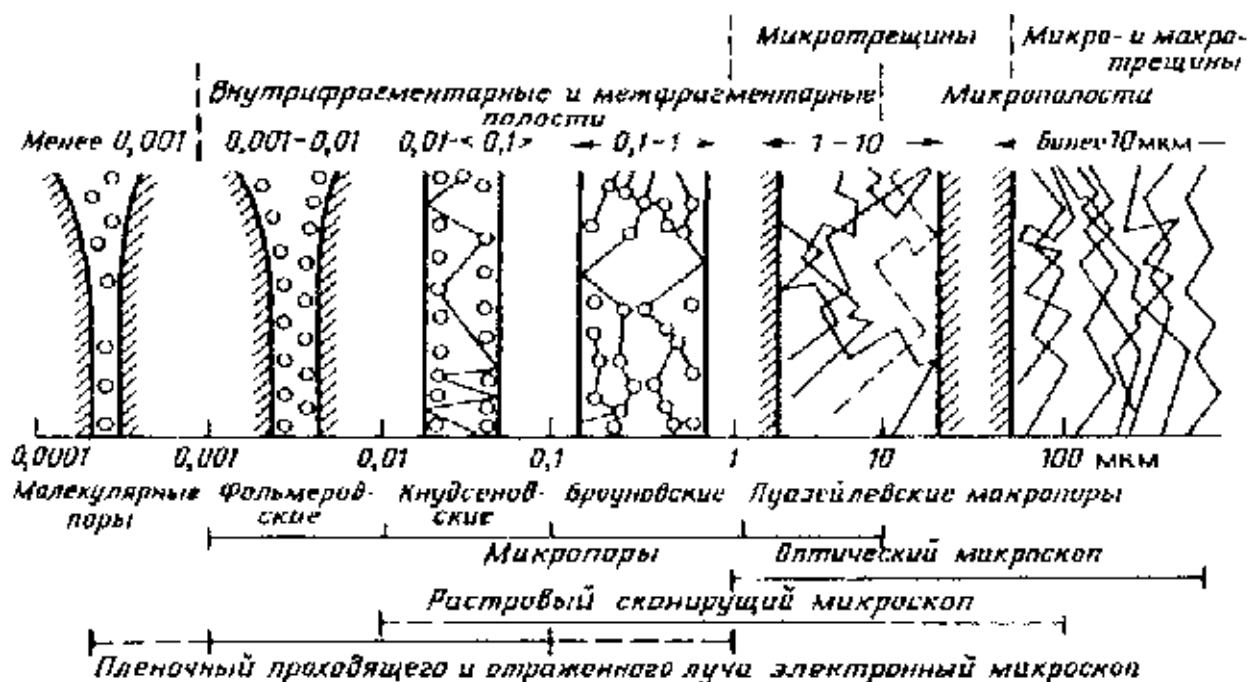
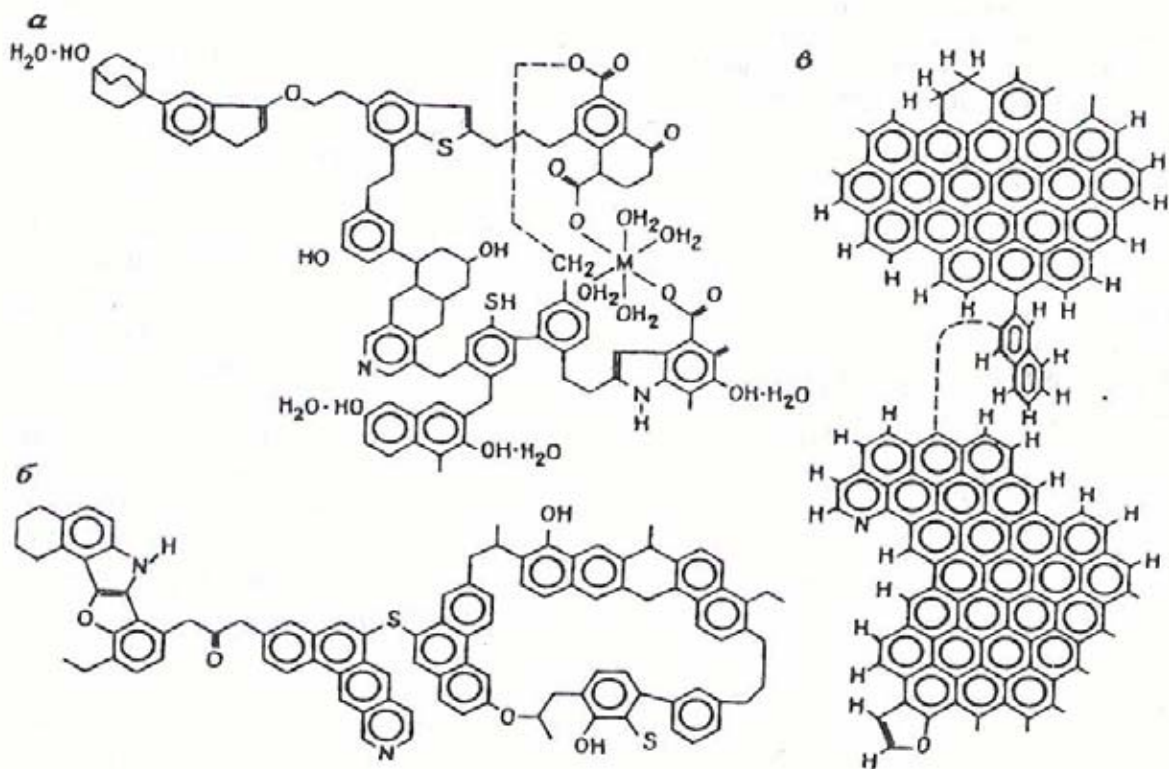


Рис.1 - Физическая структура угля по И.В. Звереву, М.О. Долговой и др. [1]

Макромолекулярные модели строения углей, созданные на основе рентгено-структурного анализа, представленные на рисунке 2, показывают, что химическое строение угольных веществ разной степени метаморфизма подобно. Органическая масса угольного вещества представляет собой конденсированные ядра с двойными связями С=С и боковые группировки с одинарными связями С-С, С-Н, С-О и др. Боковые группировки образуют связи органического вещества (графитовых кристаллитов) с его неорганической частью, что способствует внешнему взаимодействию и обуславливает различия в свойствах углей.

Таким образом, к первоначальному мнению о свободном состоянии метана в трещинах и порах угольного вещества прибавилось мнение о тесной физико-химической связи метана с углем (до 95%) в адсорбированном, абсорбированном и растворенном видах, образующей преимущественно твердый углеметановый раствор (ТУГР). В нем органическая масса угольного вещества (конденсированные ядра с двойными связями С=С и боковые группировки с одинарными связями С-С, С-Н, С-О и др.) благодаря свободным связям боковых группировок образует физико-химическую связь с метаном по контуру макромолекул и их блоков. Свободный метан (в незначительном количестве, до 5%) содержится в дефектах структуры угля.

На основании этих исследований формируется мнение о том, что система “уголь-газ” представляет собой твердый углегазовый раствор.



а – угли низкой; б – средней; в – высокой степени метаморфизма

Рис.2 - Схема химического строения угольного вещества по И.В. Звереву, М.О. Долговой и др. [1]

Исходя из вышеизложенного, система “уголь–газ” должна состоять из кристаллитов и мицелл, образующих макромолекулы, боковые группировки которых образуют физико-химические связи с метаном. Однако это состояние не является раствором одного вещества в другом. Наиболее приемлемый термин – твердая коллоидная система с сильным взаимодействием связи С=С, представляющей лиофильные связи и слабыми лиофобными боковыми группировками с одинарными связями С-С, С-Н, С-О и т.д., которые взаимодействуют с метаном.

При нарушении природного равновесия в системе (авторами [1] рассматривается термодинамическое разложение ТУГРа) изменение физико-химических связей происходит по контуру макромолекул и их блоков, т.е. по слабым лиофобным связям. Этот процесс более напоминает явление, обратное салюблизации (коллоидному растворению), при котором состояние кристаллитов и мицелл остается неизменным. Нарбатываемый или генерируемый при этом объем метана имеет значительно меньшую величину по сравнению с объемами газа, выделяющегося при явлении саморазрушения краевой части угольного массива или при гидродинамическом разрушении через скважины. В то же время, при насыщении образцов угля газом в лабораторных условиях, молекулы метана активно взаимодействуют с лиофобными группировками, что создает видимость растворения. Но и в этом случае объем растворенного газа остается вели-

чиной малой, даже если насыщение образцов газом производить под давлением. Следовательно, исходное углегазовое состояние массива представляет собой какое-то иное соединение, образованное кристаллитами, мицеллами и молекулами газа, природа которого пока исследована недостаточно.

Наиболее вероятно, что вывод о состоянии системы “уголь-газ” в виде ТУГ-Ра для условий больших глубин неприемлем, так как по-прежнему исследуется взаимодействие двух составляющих на уже трансформированных образцах угля, а по утверждению этих же авторов процесс трансформации метаноносного угля носит необратимый характер.

Имеется и другое мнение ученых о состоянии системы “уголь-газ” как природного углеводородного соединения. Но, в силу того, что в лабораторных условиях провести необходимые экспериментальные исследования не представляется возможным, оно имеет феноменологическое представление. Известно, что при ведении горных работ и проведении экспериментальных исследований по проблеме метана на больших глубинах возникают не только аварийные, но и тупиковые ситуации, имеют место явления и эффекты, природа возникновения которых не вписывается ни в одну из общепринятых гипотез состояния углегазового массива. К их числу относятся:

- явление саморазрушения краевой части горного (угольного) массива с выделением газов, флюидов и пыли [2];

- явление газодинамического саморазрушения при гидродинамическом разрушении выбросоопасных угольных пластов через скважины с эффектом лавинообразного трещинообразования [3].

Эти феномены, проявившиеся глубоко под землей, традиционная наука объяснить не может, так как явление фазового перехода твердых углеводородов в газообразные в углегазовом массиве не рассматривалось и не исследовалось. Для подавляющего большинства ученых, даже связанных с экспериментальными работами на глубинах (800-1200 м), такое явление не очевидно.

Факт наличия в природе таких явлений, как: непроницаемость угольных пластов; процесс появления газа со скоростью звука; выделение (нарабатывание) газа на порядок больше, чем может содержаться в угле; явление техногенной генерации метана углегазовым массивом при саморазрушении и трещинообразовании и их проявление в условиях больших глубин указывает на то, что решение проблемы метана следует искать в системе “уголь-газ”, рассматривая ее как единое углеводородное соединение, трансформирующееся на твердую и газообразную составляющие.

Углеродосодержащие вещества обладают удивительными свойствами полиморфизма. Они могут представлять: крепкую кристаллическую полиморфную модификацию – алмаз; устойчиво гексагональную полимерную модификацию – графит; аморфные дисперсные продукты – сажу и уголь; жидкие – нефть; газообразные – метан, а также нефтегазовые и углегазовые соединения. Их состояние и структура зависят от условий, в которых были сформированы кристаллиты, мицеллы и боковые молекулярные связи, а так же от преобразований, вызванных природными процессами или деятельностью человека.

Предположим, что в процессе генезиса твердых углеводородов и произошедших в земной коре геологических преобразований, в зонах выхода угольных пластов под наносы и на поверхность, определенных границей зоны выветривания, твердые углеводороды представляют дегазированные угольные пласты, т.е. уже имеют трансформированное состояние. Тогда с увеличением глубины залегания месторождения система “уголь-газ” приближается к природному состоянию, которое в зависимости от степени метаморфизма и горно-геологических условий имеет свои отличительные особенности и свойства.

Процесс трансформации протекает с различной скоростью и сопровождается различными эффектами. Нам известны явления естественной дегазации, самовозгорания, газодинамические явления, самопроизвольное разрушение краевой части угольного пласта и другие, которые проявляются при проведении шахтных экспериментов на больших глубинах. Все эти процессы являются звеньями одной цепи – нарушения природной системы “уголь-газ”.

Наиболее вероятно, что в условиях больших глубин при нарушении природного равновесного состояния (в любой форме проявления) твердое углеводородное соединение трансформируется в твердую и газообразную составляющие. Процесс трансформации проявляется как при подготовительных, так и при очистных работах, а также при бурении скважин, подработке, надработке и любых других нетрадиционных технологиях.

К сожалению, контактными методами исследований пока не установлено строение и физическая структура природного состояния твердых углеводородных соединений. Известны только продукты распада, которые мы исследуем [1], предложены новые виды технологий [4], позволяющие вести добычу полезных ископаемых бесшахтными способами и механизм поддержания газодинамического саморазрушения (трансформации) углегазового массива через скважины в условиях больших глубин [3].

Примеров, подтверждающих гипотезу углеводородного состояния массива и его трансформации, достаточно количество, но им не придается должного значения. Рассмотрим некоторые, наиболее известные из них.

Первое – общепризнано: с увеличением глубины залегания газоносность угольных пластов (давление газа в пласте) интенсивно возрастает только до определенного уровня. Этот факт следует рассматривать как один из эффектов природной трансформации (дегазации) углеводородной системы “уголь-газ” по мере приближения ее к зоне выветривания и далее к земной поверхности.

Второе: при подработке (надработке) смежных пластов вне зоны разгрузки изменения скорости газовыделения не наблюдается, а переход деформаций сжатия в деформации расширения имеет скачкообразный характер [5], что позволяет утверждать о замкнутости трансформированной углегазовой системы и скачкообразном характере ее раскрытия (проявления фазового перехода).

Третье: исследованиями [6] установлено скачкообразное изменение газообильности участка от подвигания очистного забоя, а исследованиями [7] - скачкообразный характер изменения конвергенции боковых пород. Это под-

тверждает зависимость и периодичность раскрытия замкнутой трансформированной системы от роста деформаций сжатия в краевой части пласта.

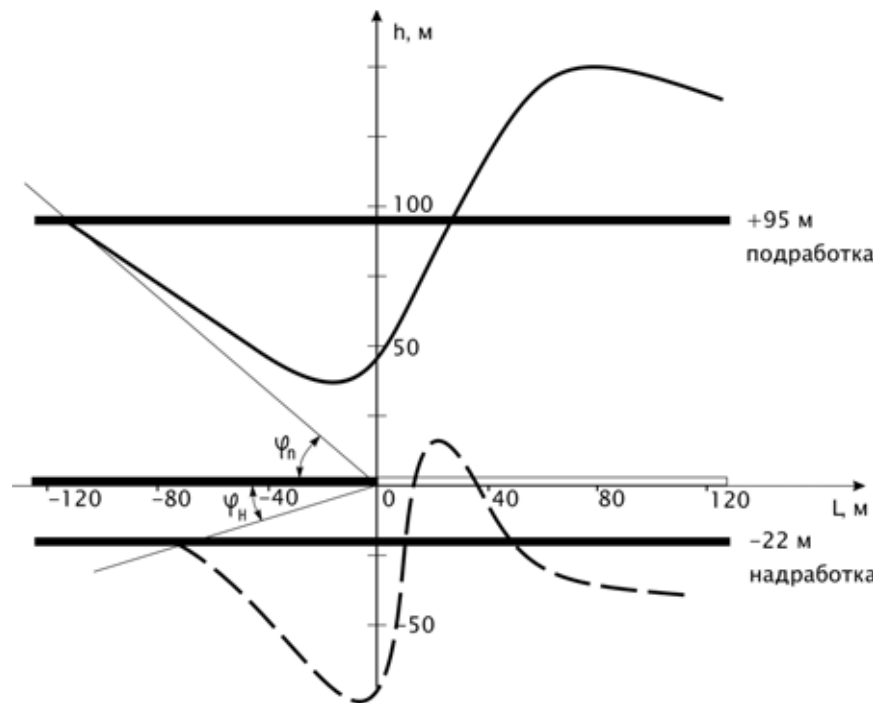
Четвертое - рассмотрим деформационные процессы, которые происходят впереди и позади очистного забоя в подрабатываемом и надрабатываемом массиве. Известно, что одновременно с зонами разгрузки формируются зоны пригрузки (сжатия). Защитная зона (граница минимально допустимого опережения очистными работами) определяется значениями граничных углов зоны разгрузки, а влияние зоны сжатия, в зависимости от расстояния междупластьем, проявляется при подработке на удалении до 120 м, а при надработке - до 80 м впереди забоя рабочей лавы. Следует понимать, что в защищенной разгруженной зоне система "уголь-газ" уже трансформирована, а в зоне сжатия, вследствие роста деформаций, давления и температуры природная углеводородная система находится в стадии трансформации. В этот период изменяются физико-механические свойства, и система переходит в подвижное углегазовое состояние. Такое состояние массива, по визуальной оценке, кратковременно (1-2 часа) наблюдается на больших глубинах после вскрытия выбросоопасного пласта, а также в уступах молотковых и кутках щитовых лав после отбойки или отжима слоя дегазированного угля.

По результатам исследований напряженно-деформированного состояния углегазового массива можно установить наличие и границы зон трансформации природной системы "уголь-газ". На подрабатываемых (надрабатываемых) пластах (рис. 3) стадия зарождения и развития процесса трансформации определяется граничным углом проявления трансформации системы φ (угол между линией горизонта разрабатываемого пласта и линией, соединяющей точку проявления деформаций сжатия с точкой проекции очистного забоя).

Характер проявления эффекта трансформации можно установить по максимальным деформациям и скачкообразному переходу деформаций сжатия в деформации расширения (рис. 4), а размеры зоны наиболее вероятного проявления эффекта трансформации, т.е. фазового перехода (L_{max}) - по углу наклона кривой развития максимальных деформаций ψ_{cp} (угол между перпендикуляром на линию горизонта и линией, соединяющей точки проявления максимальных деформаций сжатия и расширения).

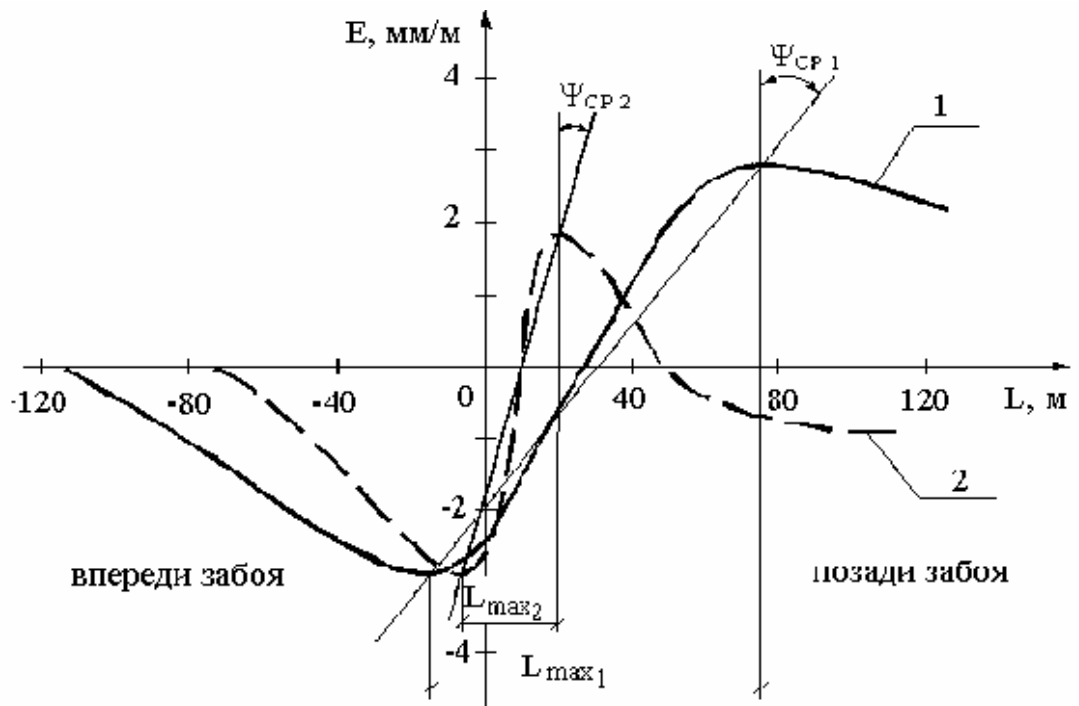
Схемы графического определения граничных углов проявления трансформации системы "уголь-газ" и средних углов наклона кривой развития максимальных деформаций установлены в соответствии с механизмом развития деформаций по И.А. Новичихину [5].

В таблице 1 приведены результаты расчетов граничных углов проявления трансформации системы (φ) и средних углов развития кривой максимальных деформаций (ψ_{cp}) для подрабатываемых и надрабатываемых пластов.



h – расстояние до подрабатываемого (надрабатываемого) пласта, м; L – расстояние до точки проявления деформаций, м; φ – граничный угол проявления трансформации системы, град.

Рис.3 - Схема расчета граничных углов трансформации системы “уголь-газ”



1- подработка; 2- надработка; E – деформации угольного пласта, мм/м; L – удаление от забоя рабочей лавы; ψ_{CP} – средний угол наклона кривой максимальных деформаций, град.

Рис. 4 – Характер развития деформаций в подрабатываемых (надрабатываемых) пластах

Таблица 1– Граничные значения проявления деформаций на подрабатываемых (нарабатываемых) углегазовых пластах.

Расстояние междупластьями, h , м.	Начальная отметка проявления деформаций, L , м.	Граничный угол проявления трансформации системы, φ , град.	Зона проявления максимальных деформаций сжатия и расширения, L_{max} , м.	Средний угол наклона кривой развития максимальных деформаций, ψ_{cp} , град.
Подработка				
25	90	13	55	30
59	52	43	75	42
95	112	40	90	38
110	82	52	90	70
154	90	58	100	60
244	85	70	75	62
Надрработка				
16	45	14	28	16
22	72	16,5	27	16
45	58	34	70	59
65	45	57	40	47
82	20	76	58	52
102	52	64,5	42	60
154	70	68,5	42	62

Анализ результатов показывает, что с увеличением расстояния между пластами граничные углы проявления трансформации системы “уголь-газ” (φ) и углы развития максимальных деформаций (ψ_{cp}) имеют явно выраженную тенденцию роста. При уменьшении расстояния между пластами средний угол кривой развития деформаций уменьшается, период проявления максимальных деформаций L_{max} сокращается. Следовательно, чем меньше расстояние между пластами, тем интенсивнее и скоротечнее в углегазовом массиве протекает процесс трансформации.

Если принять, что зона проявления максимальных деформаций (смена деформаций сжатия деформациями расширения) в углеводородном соединении соответствует зоне, в которой возможно проявление максимального эффекта трансформации, т.е. фазового перехода, то это позволяет установить граничную линию фазового перехода твердых углеводородов (рис.5).

Как следует из рисунка, зона наиболее интенсивных деформаций сжатия на смежных пластах проявляется на удалении 50-100 м от забоя при расстоянии междупластьями до 100м, следовательно, в этой зоне в массиве горных пород наиболее интенсивно происходит процесс трансформации углеводородного соединения. Этот эффект еще более усиливается в зоне опорного давления краевой части разрабатываемого пласта и проявляется как явление саморазрушения с выделением газов, флюидов и пыли.

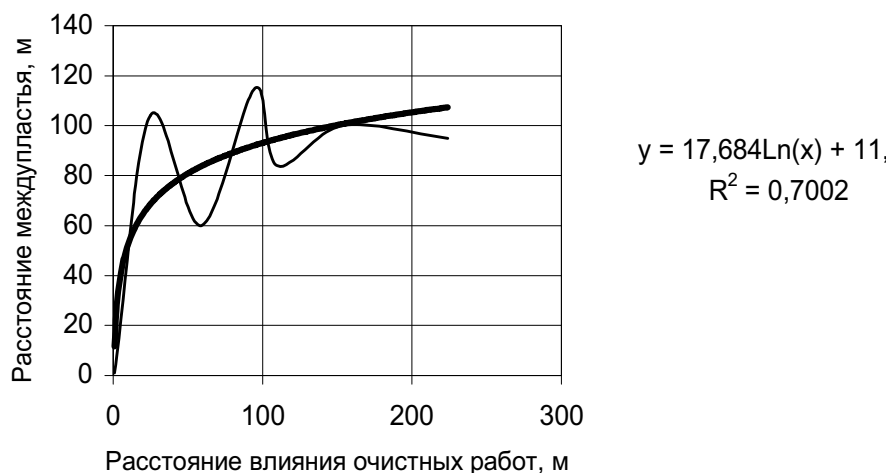


Рис.5 – Линия фазового перехода твердых углеводородов

Таким образом, наиболее вероятно, что в условиях больших глубин газонасыщенные и выбросоопасные угольные пласты представляют систему “уголь-газ” с уже трансформированным природным углеводородным соединением. В напряженной замкнутой углеводородной системе в результате перераспределения напряжений роста давления, температуры и других факторов рушатся физико-химические связи, формируются условия для фазовых переходов и граница раздела сред “твердое-газообразное”. Замкнутая система с неустойчивым (подвижным) состоянием в краевой части испытывает сверхдеформации. В зависимости от горно-геологических условий, технологии ведения горных работ и интенсивности выемки угля скачкообразное раскрытие системы, т.е. проявление эффекта трансформации (фазового перехода), происходит в виде различных, известных нам, газодинамических явлений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Малышев Ю.Н., Трубецкой К.Н., Айруни А.Т. Фундаментально прикладные методы решения проблемы метана угольных пластов. – М.: Издательство Академии горных наук, 2000.- 519 с.
2. А.В. Шестопалов. Синергетика и механодинамика краевой части газонепроницаемого угольного пласта //Горный информационно-аналитический бюллетень МГГУ, 2000.-№9.- С.54-57.
3. В.В. Зберовский. Обоснование метода и параметров активной дегазации выбросоопасных угольных пластов на больших глубинах //Вісник НГА України.- Дн-ськ, 2000.-№1.- С.28-32.
4. Ю.В. Васючков. Развитие нетрадиционных технологий разработки угольных месторождений /Уголь, 1999.-№1.- С.16-19.
5. Новичихин И.А., Кулешов В.М., Зайцев Ю.А. Использование защитных пологих пластов на шахтах Донбасса. – Донецк: "Донбасс", 1977. – 70 с.
6. Петров В.В., Бобрышев В.В., Бокий Б.В., Ирисов С.Г. Циклическое изменение газообильности участка при увеличении нагрузки на лаву // Уголь Украины, 1998. - №3. - С. 15-16.
7. Булат А.Ф., Курносоев А.Т. Управление геомеханическими процессами при отработке угольных пластов. - К.: Наукова Думка, 1987. - 200 с