

Гринев И. А.

Аспирант 1 курса Факультета мировой экономики и мировой политики

НИУ «Высшая Школа Экономики»

г. Москва, Российская Федерация

**ВЛИЯНИЕ ПРОЦЕССА НАКОПЛЕНИЯ «КРИТИЧЕСКОЙ  
МАССЫ» ИНСТИТУЦИОНАЛЬНОЙ СРЕДЫ НА КАЧЕСТВЕННЫЙ  
СКАЧОК В ДОБЫЧЕ УГЛЕВОДОРОДОВ (НА ПРИМЕРЕ «СЛАНЦЕВОЙ  
РЕВОЛЮЦИИ В США»)**

В последнее время очень сильно изменилось представление о количестве и составе энергетических ресурсов. Революция в области добычи сланцевого газа и разработка нефти из труднопроницаемых пород перевернули представление человечества об обеспеченности ресурсам разных стран для развития национальных энергетик.

Если еще 10 лет назад доля нетрадиционных углеводородов в общем балансе запасов была не более 5%, то сейчас из 2400 млрд. баррелей глобальных запасов нефти треть составляют нетрадиционные запасы, такие как, очень тяжелая нефть, нефть в малопроницаемых пластах и нефть битуминозных сланцев. Запасы газа составляют порядка 2500 млрд. баррелей нефтяного эквивалента. Половина из них – газ плотных коллекторов, сланцевый газ и метан угольных пластов. [1]

О наличии сланцевого газа как ресурса в мировом сообществе было известно уже давно, однако переводу данного вида ресурса в реальный углеводородный актив способствовала произошедшая в США сланцевая революция, в рамках которой была доказана экономическая целесообразность разработки данного вида нетрадиционного ресурса.

В период с 1990 до 2012 произошло практически восьмикратное увеличение добычи сланцевого газа с 8 до 67 млрд. куб. м. В 2012 году в США 24 млрд куб. футов природного газа в сутки (37%) добывалось из сланца. Разработка этих ресурсов позволила увеличить объемы добычи газа почти на 20%, и впервые за 10 лет США перешла из группы импортеров природного газа

в группу экспортёров. По Прогнозам «International Energy Outlook» добыча сланцевого газа в США возрастет до 4.2 трлн. куб. ф.[3]

Более того, если посмотреть на динамику объемов добычи сланцевого газа (Рисунок 1), то можно заметить, что значительный рост добычи наблюдался с 2007 по 2011 год. Произошел резкий скачок в добыче этого вида ресурса с 5% в общем объеме добычи природного газа до 37%.

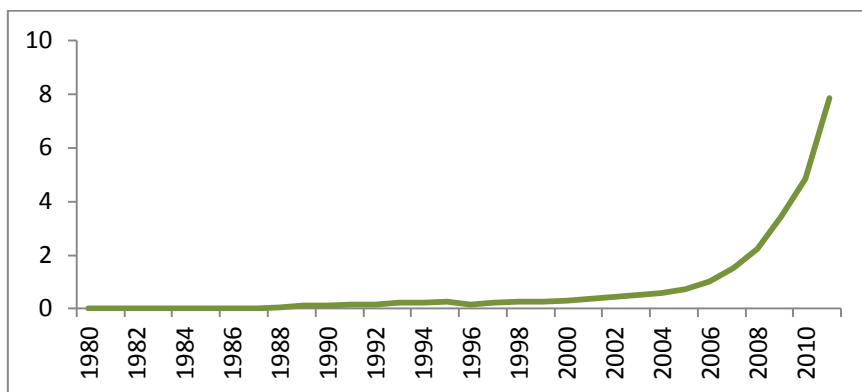


Рисунок 1. Динамика добычи сланцевого газа в США, трлн. куб. ф.[3]

Безусловно, основными существенными факторами, повлиявшими на такой значительный рост добычи сланцевого газа стали существенный рост цен на нефть в начале 21 века и стремительное развитие современных технологий, позволивших извлекать углеводородные ресурсы со сложными условиями добычи с большей рентабельностью.

Однако не только рост цен и развитие технологий, но и динамические институциональные инновации привели к такой значительной переоценке ресурсной базы.

Наличие конкурентной среды, сбалансированной системы норм и правил (в частности, налогообложение не валового дохода, а экономических результатов), «критическая масса» участников нефтегазового сектора (от добывающих компаний и до разнообразных сервисных) - послужили и причинами и «драйверами» процесса перевода ранее невостребованных ресурсов углеводородов в реальные экономические активы.

С точки зрения автора, феномен «сланцевой революции» в США может служить ярким примером комплементарной системы институтов и того

влияния, которое она может оказать на развитие инновационных процессов (на формирование и динамичный рост экономических активов).

Для того чтобы проанализировать причины возникновения сланцевой революции в США и выявить набор факторов, позволивших США произвести качественный скачок от добыче традиционного газа к сланцевому, был проведен качественный анализ сложившейся в США институциональной среды. Среди основных факторов были выделены следующие:

1) Поддержка со стороны правительства вопроса добычи сланцевого газа.

В США с 2009 года произошло изменение принципов построения топливно - энергетического комплекса страны с акцентом на собственные ресурсы. В связи с данной новой политикой в правительстве была разработана новая долгосрочная стратегия ведения добычи сланцевого газа и подготовлена соответствующая законодательная база для компаний, занимающихся добычей этого вида ресурсов. Для поддержки добычи сланцевого газа в 2005 году был принят Закон в сфере энергетики, выводящий гидроразрыв пласта из-под надзора Агентства охраны окружающей среды США

2) Эффективность и простота норм и правил, связанных с доступом к ресурсам углеводородов.

В США право собственности на недра изначально принадлежит собственнику земли. Оно автоматически дает право на ведение работ, связанных с разведкой, разработкой и добычей полезных ископаемых и делает сланцевый газ собственностью землевладельца, стимулируя к добыче. Система лицензирования в США достаточно проста и эффективна, а так же нацелена на предоставление больших участков земель (до 10,36 кв. км) с большой степенью свободы выбора для компаний, что так же важно для освоения запасов сланцевого газа. Такая система привела к тому, что число выданных лицензий к 2012 году в США составило 63000; для сравнения, в России число лицензий не превышает 3000. Большое количество участков, введенных в эксплуатацию, привели к накоплению значительного опыта разработки месторождений, что, в

свою очередь, позволило всей отрасли совершить качественный скачок в добыче газа от традиционного к сланцевому.

3) Эффективность фискальной политики, контрольных мер и стимулов, которые, первоначально базируясь на продвижении использования методов увеличения нефтеотдачи, создали в нефтегазовом комплексе США инновационно – ориентированную среду.

Нормы и правила в нефтегазовом секторе США организованы таким образом, чтобы стимулировать недропользователей применять новые методы добычи. Используются сниженные налоговые ставки для малодобитных скважин (менее 3,4 т в сутки). Хорошо развиты институты контроля, которые следят за исполнением компаний своих обязанностей. Производится дотирование победителей конкурсов инновационных проектов в размере до 40-50% от капитальных вложений. Вводится льготное налогообложение на нефть, добытую с помощью методов увеличения нефтеотдачи пласта и новых технологий – 30% против 70% в случае применения традиционных методов.

4) Накопление значительного опыта, технологий, знаний, квалификационных кадров, экспериментирование и адаптация технологий в смежных областях (в добыче нефти)

США обладает крупнейшим в мире парком буровых установок, количество которых в 2011 году превышало 1.8 тыс. функционирующих единиц, большинство из которых могут выполнять горизонтальное бурение. Для сравнения, данное значение больше, чем в Странах бывшего Советского Союза, Саудовской Аравии и Канады вместе взятых. Кроме того, к 2012 году в США накопилось колоссальное количество пробуренных скважин, число которых суммарно вышло за миллион единиц

Кроме того, к 2012 году в стране накопилось колоссальное количество пробуренных скважин, число которых суммарно вышло за миллион единиц. Количество квалифицированных специалистов, занятых в нефтегазовой отрасли США, составило около 2 млн. человек.

Накопление значительного опыта, экспериментирование и адаптация технологий в смежных областях (в нефти) позволило осуществить оптимальное сочетание трехмерного моделирования пластов, бурения горизонтальных скважин, а так же проведение гидроразрыва пласта, что обеспечило получение синергетического эффекта от данных технологий и качественного скачка в сторону добычи сланцевого газа.

Стоит заметить, что все это оборудование не является чем-то качественно новым, но за последнее время происходило его совершенствование в виду факторов, описанных ранее.

Так же проведенные ранее геологоразведочные работы позволили получить большое количество геологической информации без значительных материальных вложений в поиск и разведку. Более того, количество пробуренных скважин за последние 20 лет имеет тенденцию к снижению. В период активного освоения сланцевого газа в 2006 - 2007 гг. количество пробуренных разведывательных скважин выросло, но совсем не значительно, и то только в краткосрочный период. Уже в 2009 году данное значение опустилось до значения 2005 года, когда сланцевый бум еще только зарождался. Таким образом, в США удалось совершить прорыв в добыче сланцевого газа, без больших усилий в проведении ГРП, а основываясь на уже имеющемся накопленном опыте.

5) Институциональные нормы, правила, ограничения и стимулы в отрасли предоставляют возможности для свободного изменения форм собственности, типов и видов компаний.

Для эффективного функционирования нефтегазовой отрасли, организационно-экономические решения в отдельной стране должны быть основаны на гибком применении сильных сторон и преимуществ различных компаний. Институциональные нормы, правила, ограничения и стимулы в отрасли должны предоставлять возможности для свободного изменения форм собственности, типов и видов компаний. Как пример, в США хорошо развито антимонопольное законодательство, направленное на снижение влияния

крупных интегрированных компаний на данный сектор экономики. Данный факт способствовал активизации деятельности в стране независимых производителей. Сейчас нефтяная промышленность США является примером удачного сосуществования вертикально-интегрированных нефтяных компаний и малых нефтедобывающих предприятий.

В результате перехода отрасли на стадию зрелости в США произошло уменьшение доли в добыче ВИНК в сторону небольших независимых компаний (рост доли с 20% в 2000 г. до 54% в 2011г.). Благодаря эффективным методам поддержки независимых компаний, в стране накопился большой и разнообразный технологический и квалификационный опыт гибких и высокоспециализированных независимых мелких компаний. Такие компании в свою очередь в основном специализировались на разработке сложных мелких месторождениях или месторождениях с высокой степенью выработанности, а значит накопили существенный опыт в использовании современных методов увеличения нефтеотдачи пласта и других инновационных способов добычи.

Проведя анализ институциональной среды, а так же руководствуясь структурой добычи сланцевого газа, автор пришел к выводу, что в общем случае инновационно-ориентированная среда способствует созданию новых технологий, а также поиску эффективных решений по разработке новых типов месторождений углеводородов. **Вместе с тем, чтобы произошел качественный скачок в добыче того или иного вида углеводородов, необходимо не только наличие определенных факторов и условий, но также и их определенная их «критическая масса».** Именно достижение институциональной средой определенного "критического порога" позволило США добиться таких успехов в освоении и разработке месторождений сланцевого газа.

Из вышеизложенного анализа видно, что в истекший период (последние 10-15 лет) не было сделано никаких новых и прорывных изобретений - происходило, по сути, эволюционное накопление опыта, знаний и умений, технологий. Об этом, в частности, свидетельствует и то, что количество новых

пробуренных скважин за последние 20 лет в США имеет устойчивую тенденцию к ... снижению. Так же не наблюдается тенденции в увеличении объемов ГРП и специалистов, работающих в отрасли, хотя следуя здравому смыслу, прирост столь колоссальных объемов в добыче сланцевого газа должен был неминуемо привести к этому. Это еще раз доказывает тот факт, что в США накопилась определенная «критическая масса» институциональных факторов и факторов, связанных с институциональной средой, что позволило совершить качественный скачок от добычи традиционного газа к сланцевому.

**И так как на данный момент не было сделано эмпирической оценки влияния институциональной среды на качественный скачок в добыче сланцевого газа в частности, а в общем целом – на структурный сдвиг в переходе от добычи традиционных углеводородов к нетрадиционным, эмпирический анализ, выполненный автором и представленный далее в статье, является весьма актуальным.**

На первом этапе исследований - изучения влияния различных институциональных факторов или факторов, связанных с институциональной средой, на динамику добычи сланцевого газа в США использовался инструмент векторной регрессии (Multivariate Multiple Regression).

Период наблюдения составлял 27 лет – с 1985 по 2011 годы. Источниками статистических данных были Американский институт нефти (ИРАА) и Бюро по управлению землями (BLM).

Целью исследования автор ставил проверить с помощью эконометрического моделирования следующую гипотезу: «имеется зависимость между факторами институциональной среды и изменением состава извлекаемых углеводородов», на примере сланцевой революции США.

В качестве исследуемых переменных были приняты доли различных видов нефти и газа в общей добыче углеводородов в США, такие как: нефть высоких широт; внутриконтинентальная нефть; нефть глубоководных залежей; нефть плотных пород; внутриконтинентальный природный газ; попутный газ;

метан угольных пластов; газ глубоководных залежей; газ высоких широт; газ плотных пород; сланцевый газ.

В качестве определяющих переменных были выбраны ряд факторов институциональной среды, а так же факторов, связанных с институциональной средой, о которых уже упоминалось ранее в статье:

1. Накопленное количество лицензионных участков (определяющий фактор норм и правил доступа к участкам недр для разработки, содержащих углеводороды);
2. Количество компаний (определяющий фактор разнообразия форм взаимодействия организационных единиц, конкурентной среды в рамках минерально-сырьевого сектора);
3. Количество занятого населения в нефтяной промышленности (определяющий фактор накопления квалифицированных кадров, опыта и знаний внутри отрасли);
4. Накопленное количество разведывательных скважин (определяющий фактор накопленного в отрасли количества знаний в области геологоразведки, а так же технологий)
5. Накопленное количество эксплуатационных скважин (определяющий фактор накопленного в области объема технологий)
6. Накопленное количество буровых установок (определяющий фактор накопленного в нефтегазовой отрасли области объема технологий)
7. Количество законченных скважин (определяющий фактор гибкой и инновационной среды, предоставляющей возможности для свободного изменения организационных форм внутри сектора)
8. Накопленный объем бурения (определяющий фактор накопления в отрасли опыта знаний и технологий в области бурения)
9. Накопленные вложения в НИОКР вертикально интегрированных нефтяных компаний (как фактор инновационного развития отрасли)
10. Накопленные вложения в НИОКР независимых компаний (как фактор инновационного развития отрасли)



Подробное описание результатов моделей и их описание представлены в статье [2]. Упомянем здесь лишь наиболее важный для нас результат, что с ростом показателей, характеризующих динамику включенных в модель факторов, доля традиционного природного газа в общем объеме добычи газа в США сокращается, а доля нетрадиционных углеводородов, таких как сланцевый газ, увеличивается. Причем рост таких характеристик, как количество лицензий, объем бурения, количество разведывательных скважин и объем НИОКР ВИНК имеет наиболее сильное влияние на снижение доли традиционного газа и увеличения доли сланцевого газа.

Результаты эксперимента подтверждают нашу гипотезу и весьма убедительно свидетельствуют о роли институциональной среды в формировании нового источника добычи газа в США – газа сланцевых залежей (или сланцевого газа).

Итак, с помощью эконометрического моделирования мы доказали гипотезу о том, что «имеется зависимость между факторами институциональной среды и изменением состава извлекаемых углеводородов», на примере сланцевой революции США. Однако, ранее в статье, автором уже упоминалось о том, что не столько само наличие институциональных факторов, сколько накопление его определенной «критической массы» привело в США к качественному сдвигу в структуре добываемых углеводородов.

Таким образом, далее в статье, происходит проверка следующей гипотезы: «накопление определенного количества, или «критической массы», факторов институциональной среды приводит к качественному сдвигу в составе добываемых углеводородов».

Для проверки данной гипотезы была использована теоретическая база математической «Теории катастроф». В качестве зависимой переменной выступила динамика добычи сланцевого газа в США. В качестве определяющих переменных были приняты факторы институциональной среды, и факторы, связанные с институциональной средой, описанные ранее в статье и использованные в эконометрическом моделировании.

Автором была подобрана функция, (методом геометрического восстановления функции по имеющимся данным наблюдений), наилучшим образом моделирующая зависимость изменения добычи сланцевого газа от накопления факторов.

Полученная функция является неявной функцией, а именно эллиптической кривой, и имеет следующий вид:

$$\left(\frac{F(y)}{5} - 1.33\right)^3 - \left(\frac{F(y)}{5} - 1.33\right) - \left(\frac{F(x)}{43.5}\right)^2 + 1 = 0 \quad \text{де}$$

$F(y)$  –зависимость добычи сланцевого газа от функции накопления факторов;

$F(x)$  – функция накопления факторов институциональной среды.

Функция накопления факторов зависит от ряда параметров (факторов, которые уже были использованы ранее в эконометрическом моделировании).

Для каждого параметра (фактора), в свою очередь, была подобрана своя функция влияния накопления его количества на изменение добычи сланцевого газа. Данные функции имеют следующий вид:

1) Для параметра накопленное количество лицензий:

$$F(z_1) = \frac{32e^{\frac{13x_1}{100}}}{13e^{5.72}}, \text{ где}$$

$F(z_1)$  – функция влияния накопления фактора  $x_1$  на изменение добычи сланцевого газа

$x_1$  – накопленное количество лицензий

2) Для параметра количество компаний:

$$F(z_2) = \left(\text{sign}\left(\frac{x_2}{100} - 0.131\right) + 1\right) \frac{t_x}{2}, \text{ где}$$

$F(z_2)$  – функция влияния накопления фактора  $x_2$  на изменение добычи сланцевого газа

$x_2$  –количество компаний

$t_x$  – временной параметр, период от начала наблюдения (1 ,2,3...32)

3) Для параметра количество квалифицированных кадров:

$$F(z_3) = \frac{100000\left(\frac{x_3}{10} - 0.17\right)}{82}, \text{ где}$$

, где

$F(z_3)$  - функция влияния накопления фактора  $x_3$  на изменение добычи сланцевого газа

$x_3$  – количество квалифицированных кадров

- 4) Для параметра накопленное количество инвестиций в НИОКР малых инновационно-ориентированных компаний:

$$F(z_4) = \frac{32x_4}{110}, \text{ где}$$

$F(z_4)$  - функция влияния накопления фактора  $x_4$  на изменение добычи сланцевого газа

$x_4$  – накопленное количество инвестиций в НИОКР малых инновационно-ориентированных компаний

- 5) Для параметра накопленный объем бурения:

$$F(z_5) = \frac{32x_5}{6.8} \text{ где}$$

$F(z_5)$  - функция влияния накопления фактора  $x_5$  на изменение добычи сланцевого газа

$x_5$  – накопленный объем бурения

- 6) Для параметра накопленное количество разведывательных скважин:

$$F(z_6) = \frac{32e^{\frac{17x_6}{1000}}}{e^{3.23}}, \text{ где:}$$

$F(z_6)$  - функция влияния накопления фактора  $x_6$  на изменение добычи сланцевого газа

$x_6$  – накопленное количество разведывательных скважин

- 7) Для параметра накопленное количество эксплуатационных скважин:

$$F(z_7) = 30.7 \left( \frac{x_7}{1000} - 0.86 \right)^{1/3} + 17, \text{ где}$$

$F(z_7)$  - функция влияния накопления фактора  $x_7$  на изменение добычи сланцевого газа

$x_7$  – накопленное количество эксплуатационных скважин

- 8) Для параметра количество буровых установок:

$$F(z_8) = 36 \left( \text{sign}(t_x - 16) |x_8/10 - 0.062|^{1/2} + (0.338)^{1/2} \right), \text{ где}$$

$F(z_8)$  - функция влияния накопления фактора  $x_8$  на изменение добычи сланцевого газа

$x_8$  – накопленное количество буровых установок

Итоговая функция накопления факторов институциональной среды  $F(x)$

имеет следующий вид:

$$F(x) = \frac{1}{8} \frac{32e^{\frac{13x_1}{100}}}{13e^{5.72}} + \frac{1}{8} \left( \text{sign} \left( \frac{x_2}{100} - 0.131 \right) + 1 \right) \frac{t_x}{2} + \frac{1}{8} \frac{100000 \left( \frac{x_3}{10} - 0.17 \right)}{82} + \frac{1}{8} \frac{32x_4}{110} + \frac{1}{8} \frac{32x_5}{6.8} + \frac{1}{8} \frac{32e^{\frac{17x_6}{1000}}}{e^{3.23}} + \frac{1}{8} \left( 30.7 \left( \frac{x_7}{1000} - 0.86 \right)^{1/3} + 17 \right) + \frac{36}{8} \left( \text{sign}(t_x - 16) |x_8/10 - 0.062|^{1/2} + (0.338)^{1/2} \right)$$

Имея итоговую функцию накопления факторов, получим искомую функцию  $F(y)$  - зависимость изменения добычи сланцевого газа от параметров институциональной среды.

Функция, являющейся неявной функцией в 9-мерном пространстве, имеет

вид:

$$\left( \frac{F(y)}{5} - 1.33 \right)^3 - \left( \frac{F(y)}{5} - 1.33 \right) - \left( \frac{1}{43.5} \left( \frac{1}{8} \frac{32e^{\frac{13x_1}{100}}}{13e^{5.72}} + \frac{1}{8} \left( \text{sign} \left( \frac{x_2}{100} - 0.131 \right) + 1 \right) \frac{t_x}{2} + \frac{1}{8} \frac{100000 \left( \frac{x_3}{10} - 0.17 \right)}{82} + \frac{1}{8} \frac{32x_4}{110} + \frac{1}{8} \frac{32x_5}{6.8} + \frac{1}{8} \frac{32e^{\frac{17x_6}{1000}}}{e^{3.23}} + \frac{1}{8} \left( 30.7 \left( \frac{x_7}{1000} - 0.86 \right)^{1/3} + 17 \right) + \frac{36}{8} \left( \text{sign}(t_x - 16) |x_8/10 - 0.062|^{1/2} + (0.338)^{1/2} \right) \right)^2 + 1 = 0, \text{ где}$$

$y$  – объемы добычи сланцевого газа

$x_1$ - $x_8$  – факторы институциональной среды.

Для того чтобы доказать, что функция хорошо моделирует фактические объемы добычи сланцевого газа, посмотрим на один из ее срезов (Рисунок 2).

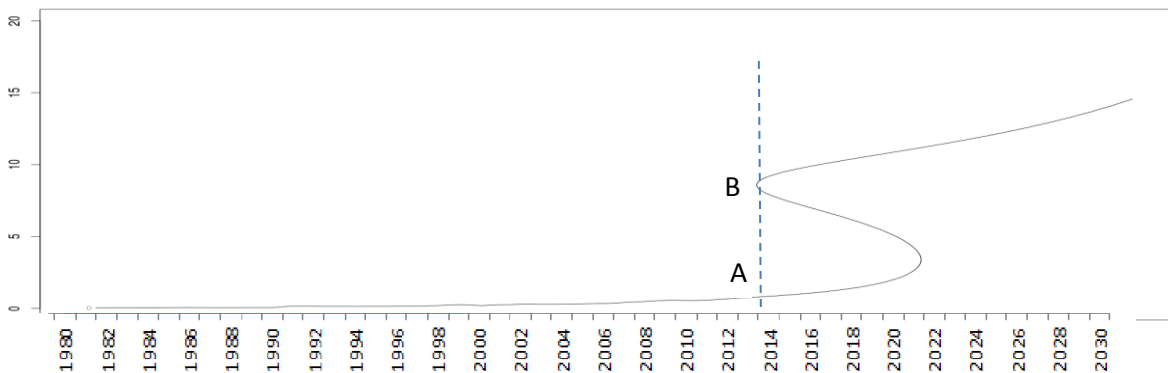


Рисунок 2. Срез функции влияние институциональных факторов на добычу сланцевого газа, трлн. куб. ф.

На Рисунке 2 Точка А является точкой бифуркации, критическим значением при изменении факторов, в котором система выходит из состояния равновесия. Другими словами, при накоплении определенного количества, или «критической массы», институциональных факторов в точке А происходит

резкое увеличение объемов добычи сланцевого газа, то есть качественный скачок из точки А в точку В.

Так же из Рисунка 2 видно, что качественный скачок будет продолжаться 4 года - с 2010 года, когда скачок начался, до 2014 года, когда скачок будет завершен.

Получив вид функции зависимости объемов добычи сланцевого газа от институциональной среды возможно спрогнозировать объем добычи сланцевого газа в 2014 году, в точке завершения скачка (точке В).

Выразив  $F(x)$  через  $F(y)$ , и вычислив производную полученной функции, имеем

$$2 \text{ корня: } 43.5 \left( \left( \frac{y}{5} - 1.33 \right)^3 - \left( \frac{y}{5} - 1.33 \right) + 1 \right)^{-\frac{1}{2}} \frac{1}{2} \left( 3 \left( \frac{y}{5} - 1.33 \right)^2 \frac{1}{5} - \frac{1}{5} \right) = 0$$

$$\frac{y}{5} - 1.33 = \pm \frac{1}{\sqrt{3}}$$

$$y_{1/2} = 9.55; 3.75$$

Из Рисунка 2 так же видно, что у исследуемой функции 2 точки экстремума, это мы и получили в ходе математических вычислений. Так как нас интересует значение функции в точке В, мы примем  $y=9.55$  – то есть можно предположить, что в 2014 году, когда скачок завершиться, добыча сланцевого газа в США составит 9.55 трлн. куб. ф.

Таким образом, в статье автором с помощью математического моделирования в рамках «Теории катастроф» было доказано не только наличие влияния факторов институциональной среды на изменение состава извлекаемых углеводородов, была так же доказана гипотеза о том, что «накопление определенного количества, или «критической массы», факторов институциональной среды приводит к качественному сдвигу в составе добываемых углеводородов». Более того, была получена эмпирическая оценка такого влияния, что поможет в дальнейшем автору, или другим заинтересованным лицам, при анализе факторов институциональной среды любой другой из стран, в частности России, с точки зрения возможного начала разработки нетрадиционных углеводородов.

#### **Список использованной литературы**

1) Даррикаррер Ив-Луи., Доклад компании Shell, 2012

2) Крюков В.А., Гринец И.А., Сонин М.А. «Активы, Институты, Инновации», сборник трудов международной конференции, г. Новосибирск, 2012

3) Independent Petroleum Associated of America. Режим доступа:  
<http://www.ipaa.org/economics-analysis-international/industry-statistics/>

Гринец И.А., 2013