

В.А. Крюков

Российская академия наук,

И.А. Гринец

Национальный
исследовательский
университет «Высшая
школа экономики»

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ НАКОПЛЕНИЯ «КРИТИЧЕСКОЙ МАССЫ» ИНСТИТУЦИОНАЛЬНОЙ СРЕДЫ ПРИ ОСВОЕНИИ НОВЫХ ИСТОЧНИКОВ УГЛЕВОДОРОДОВ (НА ПРИМЕРЕ СЛАНЦЕВОГО ГАЗА В США)

В США за период с 1990 по 2012 г. произошло практически восьмикратное увеличение добычи сланцевого газа с 8 до 67 млрд куб. м. В 2012 г. 24 млрд куб. футов природного газа в сутки (37%) в стране добывалось из сланца. Разработка этих ресурсов позволила увеличить объемы добычи газа почти на 20% (см. рис. 1).

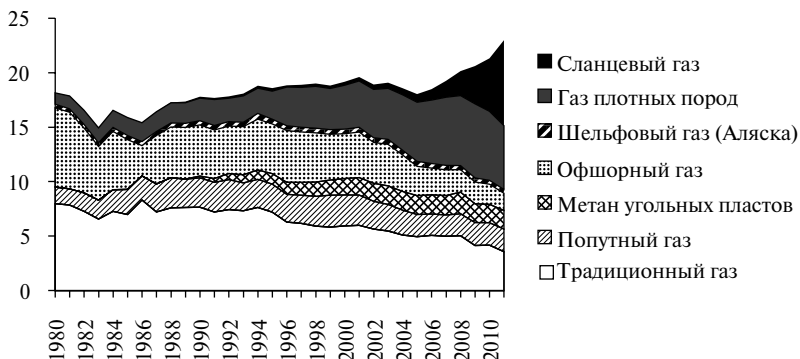


Рис. 1. Добыча сланцевого газа и других видов газа в США, трлн куб. ф.

Источник: Independent Petroleum Associated of America, ИПАА.

Стремительный рост добычи сланцевого газа в США поставил перед исследователями вопрос о причинах и факторах появления и развития данного «феномена». Ответы на данный вопрос можно сгруппировать следующим образом:

а) доминирование причин технологического характера (гидроразрыв пласта, горизонтальное бурение, трехмерная сейсмика и т.д.);

б) доминирование причин стимулирующего характера (доступ к участкам недр, меры стимулирования со стороны федерального и региональных правительств);

в) наличие организационных предпосылок (парк буровых станков, количество компаний, мобильность факторов производства и проч.).

Как нам представляется, все данные группы причин правомерны и справедливы с точки зрения объяснения наличия и развития данного «феномена». Однако среди основных «объясняющих» факторов — достижение всеми данными условиями определенных пороговых значений и переход взаимодействия и взаимовлияния факторов в новое качество. А именно, новое качество состоит в появлении таких взаимодействий всех отмеченных выше причин, что они, начиная с определенного момента времени, обеспечили «качественный» скачок наблюдаемого «феномена». С этой точки зрения, как нам представляется, можно говорить о накоплении определенной «критической массы» среды, которая обеспечила развитие ситуации в наблюдаемом направлении.

На рис. 2 видно, что, по имеющейся на данный момент информации, значительные запасы сланцевого газа, помимо США, сосредоточены в Китае, Австралии, Аргентине, Мексике, Канаде, Алжире. Однако значительных успехов в разработке добились пока только США.

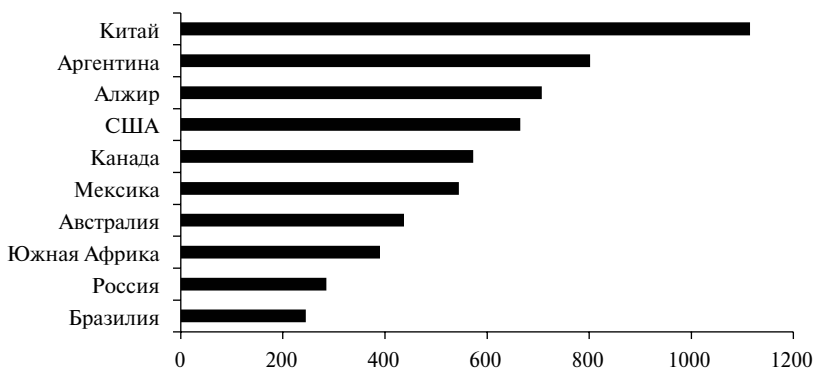


Рис. 2. Мировые запасы технически извлекаемого сланцевого газа, трлн куб. ф.

Источник: EIA, Analysis & Projections: Technically Recoverable Shale Oil and Shale Gas Resources.

Этот факт подтверждает статистика ВР — на долю США приходится 99% мировой добычи сланцевого газа. Более того, из представленного в этом

году прогноза ВР следует, что ситуация в среднесрочной перспективе существенно не изменится.

Именно данная гипотеза — о формировании «критической массы» институциональной среды — может служить объяснением этого.

Важно понять совокупность факторов и условий — не только на качественном уровне (наличие мер стимулирования и налоговые преференции — к чему в России, например, сводится почти вся политика в данной области), но и на количественном (сколько, когда и как разные параметры разных факторов при их объединении обеспечивают возникновение синергетического эффекта).

Среди отдельных весьма значимых факторов, как правило, выделяют систему частных прав на недра, значительное разнообразие типов компаний, оперирующих в нефтегазовом секторе (и добывающих и сервисных), адекватный налоговый режим.

В США уже с конца 1970-х годов правительство предприняло ряд шагов, направленных на стимулирование добычи природного газа из новых источников, в том числе нетрадиционных. В частности, ценовое стимулирование было закреплено законодательно — в ст. 107 Закона о политике в области природного газа. С 1 ноября 1979 г. цены на газ, добытый из нетрадиционных источников, не регулировались (в отличие от цен на традиционный природный газ) [MacAvoy, 1983], что создало большое преимущество для компаний, разрабатывающих эти источники газовых ресурсов.

В соответствии со ст. 29 Закона о налогообложении сверхприбыли при добыче нефти (Crude Oil Windfall Profits Tax Act), вступившего в силу в 1980 г., производителям газа из нетрадиционных источников, а именно девонских отложений сланцев, низкопроницаемых формаций и угольных пластов, предоставлялись льготы в размере около 18 долл./тыс. куб. м.

Предоставление налоговых льгот для нетрадиционных видов источников в рамках ст. 29 прекратилось в конце 1992 г. Однако это не привело к такому существенному снижению объемов добычи нетрадиционного газа, как ожидалось.

Ценовое стимулирование в сочетании с налоговыми льготами в первое десятилетие привело к значительному увеличению добычи газа из нетрадиционных источников — с 0,5 трлн куб. ф. в 1980 г. до 3 трлн куб. ф. в 1990 г. Однако данные инструменты лишь в определенном смысле «запустили процесс».

Не менее важен и доступ к недрам для тех, кто стремится и имеет возможность реализовать свое желание преуспеть в данном бизнесе. В США право собственности на недра изначально принадлежит собственнику земли. Благодаря эффективно разработанным нормам и правилам в США процесс доступа к ресурсам отличается простотой и ясностью.

Благодаря эффективности и простоте процесса выдачи лицензий на разработку углеводородов в США в среднем ежегодно распределяется порядка 60–80% из выставленных лицензий (см. рис. 3). В России, например, значение этого показателя в 2012 г. не превышает 20%, несмотря на то что общее число лицензий, выставленных на аукцион, почти в 10 раз меньше.

Общее же количество лицензий, выданное в США, по состоянию на 2012 г. достигло 63 000. Для сравнения, в России общее количество выданных лицензий находится на уровне 3000.

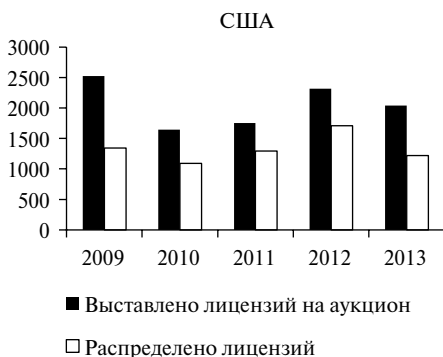


Рис. 3. Динамика количества выданных лицензий в США, шт.

Источник: US Bureau of land management.

Такое колоссальное количество участков, «затронутых» различными видами работ по поискам, разведке и добыче в США позволило компаниям накопить большой опыт и колоссальные знания по геологии и технологии работы с самыми разными участками недр. На рис. 4 видно, что количество разведочных скважин в период с 2008 по 2011 гг. имело тенденцию к... снижению, несмотря на то что именно в этот период стал наблюдаться самый значительный рост в добыче сланцевого газа. Объяснение заключается в перенесении центра тяжести усилий компаний с поисков и разведки непосредственно на разработку и на применение различных подходов к интерпретации и обобщению полученных ранее колоссальных объемов знаний о недрах.

Поэтому можно сделать вывод и о том, что наличие сильных институтов частной собственности, а также эффективность и простота норм и правил сыграли существенную роль в инновационном развитии нефтегазовой отрасли в США.

Принципиально важно, что в истекший период (последние 10–15 лет) не было сделано никаких новых и прорывных изобретений — имело место совершенствование подходов к совместному применению горизонтального бурения, технологии гидравлического разрыва пластов, трехмерной сейсмики.

Направление совершенствования — более точечный и более объектно-ориентированный подход — например, не гидроразрыв как таковой, а многоступенчатый разрыв, не горизонтальное бурение как таковое, а горизонтальное бурение в нескольких проекциях и т.д.

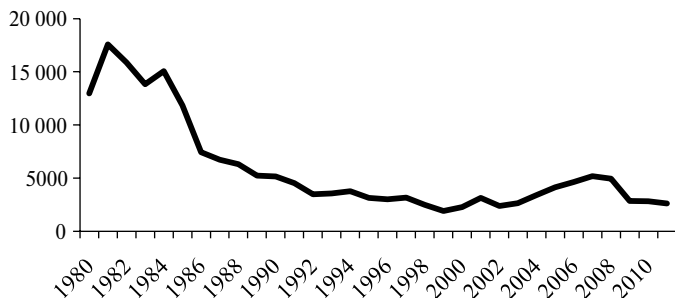


Рис. 4. Динамика изменения количества разведывающих скважин, США

Источник: Independent Petroleum Associated of America.

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 определенная их «критическая масса». Поэтому наша гипотеза состоит в том, что именно достижение институциональной средой определенного «критического порога» позволило США добиться таких успехов в освоении и разработке месторождений сланцевого газа.

Данные обобщающие соображения были проверены нами на эмпирическом материале. Цель эмпирической оценки состояла в следующем:

1) выявить роль и значение факторов институциональной среды и факторов, связанных с институциональной средой, повлиявших на стремительный рост добычи сланцевого газа в США;

2) показать, что с накоплением факторов институциональной среды в общем объеме добычи углеводородов США увеличивается доля нетрадиционных углеводородов, с одновременным уменьшением традиционных;

3) проанализировать процесс накопления «критической массы» факторов институциональной среды с точки зрения их влияния на изменение состава извлекаемых углеводородов в США.

Отмеченные выше численные эксперименты хорошо обеспечены доступными информационными ресурсами. Значительные массивы данных доступны на сайтах Ассоциации независимых нефтяников Америки (Independent Petroleum Association) и Бюро по управлению земельными ресурсами Министерства внутренних дел США (The Bureau of Land Management, U.S. Department of the Interior).

На первом этапе исследований — изучения влияния различных факторов на динамику добычи сланцевого газа — использовался инструмент векторной регрессии (Multivariate Multiple Regression). Период наблюдения составлял 27 лет — с 1985 по 2011 г.

Вектором зависимых переменных выступили доли различных видов газа в общей добыче углеводородов в США, такие как внутриконтинентальный природный газ; попутный газ; метан угольных пластов; газ глубоководных залежей; газ высоких широт; газ плотных пород; сланцевый газ.

Независимыми, или влияющими, переменными выступили факторы институциональной среды (а также квазифакторы институциональной среды).

1. Накопленное количество лицензионных участков (определяющий фактор норм и правил доступа к участкам недр для разработки, содержащих углеводороды).

2. Количество компаний (фактор разнообразия форм взаимодействия организационных единиц).

3. Количество занятого населения в нефтяной промышленности (фактор накопления квалифицированных кадров, опыта и знаний внутри отрасли).

4. Накопленное количество разведывательных скважин (фактор накопленного в отрасли количества знаний в области геологоразведки, а также технологий).

5. Накопленное количество эксплуатационных скважин (фактор накопленного в области объема технологий).

6. Накопленное количество буровых установок (фактор накопленного в нефтегазовой отрасли объема технологий).

7. Накопленный объем бурения (фактор накопления в отрасли опыта знаний и технологий в области бурения).

8. Накопленные вложения в НИОКР вертикально интегрированных нефтяных компаний (фактор инновационного развития отрасли).

9. Накопленные вложения в НИОКР независимых компаний.

Остановимся на наиболее важных из полученных результатов.

С ростом вклада вышеперечисленных факторов доля сланцевого газа в общем объеме добычи газа в США увеличивается. Причем наибольшее влияние на увеличение доли данного вида углеводородов имеют следующие факторы: количество лицензионных участков, НИОКР независимых компаний, объем бурения, количество буровых установок. Заметим, что имеется положительная зависимость между сланцевым газом и НИОКР независимых компаний, между тем показатель НИОКР вертикально-интегрированных компаний (ВИНК) оказался незначим. Это указывает на большую роль гиб-

ких инновационно-ориентированных независимых небольших компаний в увеличении добычи сланцевого газа, чем ВИНК.

Одновременно, с ростом вклада вышеперечисленных факторов, доля традиционного природного газа в общем объеме добычи газа в США сокращается.

Результаты эксперимента весьма убедительно свидетельствуют о роли институциональной среды в формировании нового источника добычи газа в США — газа сланцевых залежей (или сланцевого газа).

С помощью эконометрического моделирования на примере сланцевой революции в США была показана зависимость между факторами институциональной среды и изменением состава извлекаемых углеводородов. Однако, по нашему мнению, не столько само наличие институциональных факторов, сколько накопление его определенной «критической массы» привело в США к качественному сдвигу в структуре добываемых углеводородов.

К сожалению, инструменты эконометрического моделирования имеют ограниченные возможности для выявления данного феномена накопления критической массы, поэтому дальнейший анализ был проведен в рамках математической «теории катастроф».

Зависимой переменной выступил объем добычи сланцевого газа в США за период с 1985 по 2011 г. В качестве определяющих переменных были приняты факторы институциональной среды и факторы, связанные с институциональной средой, описанные ранее в статье и использованные в эконометрическом моделировании. Методом геометрического восстановления функции по имеющимся данным наблюдений (используя возможности инструмента R) была подобрана функция, наилучшим образом моделирующая зависимость изменения добычи сланцевого газа от накопления факторов институциональной среды.

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

$$\left(\frac{F(y)}{5} - 1,33\right)^3 - \left(\frac{F(y)}{5} - 1,33\right) - \left(\frac{F(x)}{43,5}\right)^2 + 1 = 0,$$

где $F(y)$ — зависимость добычи сланцевого газа от функции накопления факторов; $F(x)$ — функция накопления факторов институциональной среды.

Функция накопления факторов зависит от ряда параметров.

Для каждого параметра (фактора), в свою очередь, была подобрана своя функция влияния накопления его количества на изменение добычи сланце-

вого газа следующим образом: функции были смоделированы методом геометрического восстановления функций по имеющимся данным наблюдений за период с 1980 по 2012 г. (используя возможности инструмента *R*). Данные функции имеют следующий вид.

1. Для параметра «накопленное количество лицензий». Данная функция наилучшим образом описывает взаимосвязь параметров, основываясь на точках реальных наблюдений за период с 1980 по 2012 г. Она была получена с помощью программы *R* и максимально приближена к реально существующей зависимости в описанный период:

$$F(z_1) = \frac{32e^{\frac{13x_1}{100}}}{13e^{5,72}},$$

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». Функция была смоделирована на основе реальных наблюдений за период с 1980 по 2012 г. и наилучшим образом описывает взаимосвязь параметров:

$$F(z_2) = \left(\text{sign} \left(\frac{x_2}{100} - 0,131 \right) + 1 \right) \frac{t_x}{2},$$

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». Функция была смоделирована на основе реальных наблюдений за период с 1980 по 2012 г. и наилучшим образом описывает взаимосвязь параметров:

$$F(z_3) = \frac{100000 \left(\frac{x_3}{10} - 0,17 \right)}{82},$$

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». Функция была смоделирована на основе реальных наблюдений за период с 1980 по 2012 г. и наилучшим образом описывает взаимосвязь параметров:

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

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». Функция была смоделирована на основе реальных наблюдений за период с 1980 по 2012 г. и наилучшим образом описывает взаимосвязь параметров:

$$F(z_5) = \frac{32x_5}{6,8},$$

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». Функция была смоделирована на основе реальных наблюдений за период с 1980 по 2012 г. и наилучшим образом описывает взаимосвязь параметров:

$$F(z_6) = \frac{32e^{\frac{17x_6}{1000}}}{e^{3,23}},$$

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». Функция была смоделирована на основе реальных наблюдений за период с 1980 по 2012 г. и наилучшим образом описывает взаимосвязь параметров:

$$F(z_7) = 30,7 \left(\frac{x_7}{1000} - 0,86 \right)^{1/3} + 17,$$

где $F(z_7)$ — функция влияния накопления фактора x_7 на изменение добычи сланцевого газа; x_7 — накопленное количество эксплуатационных скважин.

8. Для параметра «накопленное количество буровых установок». Функция была смоделирована на основе реальных наблюдений за период с 1980 по 2012 г. и наилучшим образом описывает взаимосвязь параметров:

$$F(z_8) = 36 \left(\text{sign}(t_x - 16) |x_8 / 10 - 0,062|^{1/2} + (0,338)^{1/2} \right),$$

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:

$$\begin{aligned}
 F(x) = & \frac{1}{8} \frac{132e^{\frac{13x_1}{100}}}{13e^{5,72}} + \frac{1}{8} \left(\text{sign} \left(\frac{x_2}{100} - 0,131 \right) + 1 \right) \frac{t_x}{2} + \frac{1}{8} \frac{100000 \left(\frac{x_3}{10} - 0,17 \right)}{82} + \frac{1}{8} \frac{32x_4}{110} + \\
 & + \frac{1}{8} \frac{32x_5}{6,8} + \frac{1}{8} \frac{32e^{\frac{17x_6}{1000}}}{e^{3,23}} + \frac{1}{8} \left(30,7 \left(\frac{x_7}{1000} - 0,86 \right)^{1/3} + 17 \right) + \\
 & + \frac{36}{8} \left(\text{sign}(t_x - 16) |x_8 / 10 - 0,062|^{1/2} + (0,338)^{1/2} \right).
 \end{aligned}$$

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

Функция, являющаяся неявной функцией в девятимерном пространстве, имеет вид:

$$\begin{aligned}
 & \left(\frac{F(y)}{5} - 1,33 \right)^3 - \left(\frac{F(y)}{5} - 1,33 \right) - \left(\frac{1}{43,5} \left(\frac{1}{8} \frac{132e^{\frac{13x_1}{100}}}{13e^{5,72}} + \frac{1}{8} \left(\text{sign} \left(\frac{x_2}{100} - 0,131 \right) + 1 \right) \frac{t_x}{2} + \right. \right. \\
 & + \frac{1}{8} \frac{100000 \left(\frac{x_3}{10} - 0,17 \right)}{82} + \frac{1}{8} \frac{32x_4}{110} + \frac{1}{8} \frac{32x_5}{6,8} + \frac{1}{8} \frac{32e^{\frac{17x_6}{1000}}}{e^{3,23}} + \frac{1}{8} \left(30,7 \left(\frac{x_7}{1000} - 0,86 \right)^{1/3} + 17 \right) + \\
 & \left. \left. + \frac{36}{8} \left(\text{sign}(t_x - 16) |x_8 / 10 - 0,062|^{1/2} + (0,338)^{1/2} \right) \right) \right)^2 + 1 = 0,
 \end{aligned}$$

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 (рис. 5).

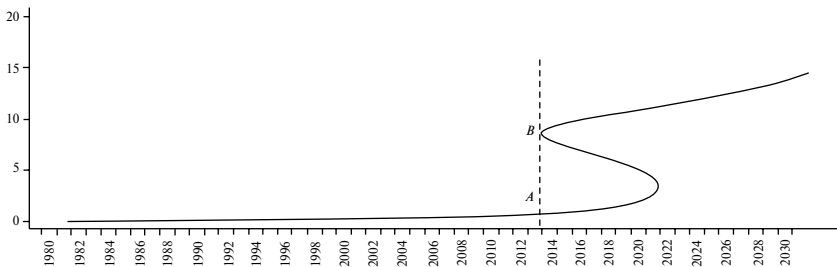


Рис. 5. Срез функции «влияние институциональных факторов на добычу сланцевого газа», трлн куб. ф.

На рис. 5 точка A является точкой бифуркации — тем критическим значением совокупного влияния рассматриваемых факторов, при котором система выходит из состояния равновесия. Другими словами, при накоплении определенного количества, или «критической массы», институциональных факторов в точке A происходит резкое увеличение объемов добычи сланцевого газа (качественный скачок из точки A в точку B).

Экспериментальные результаты показали приемлемую (с исторической точки зрения) картину — в полученном и исследованном нами случае скачок длится минимум четыре года — с 2010 по 2014 г.

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

Выразив $F(x)$ через $F(y)$ и вычислив производную полученной функции, имеем два 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 рис. 5 также видно, что у исследуемой функции две точки экстремума. Так как нас интересует значение функции в точке B , мы примем $y = 9,55$. Таким образом, можно предположить, что в 2014 г., когда переход на новую траекторию завершится, добыча сланцевого газа в США может составить 9,55 трлн куб. ф.

Результаты математического моделирования, представленные выше, свидетельствуют о следующем. Комплементарная институциональная среда (достигшая определенного уровня «критической массы») обеспечивает накопление знаний, умений, навыков и развитие технологий и методов добычи таким образом, что кардинально меняет представления о составе активов современного нефтегазового сектора (и той части, которая представлена запасами углеводородов в недрах). Процесс накопления знаний, опыта, формирования благоприятной институциональной среды в США шел непрерывно. Тем не менее «качественный скачок» в составе добываемых углеводородов произошел по истечении определенного времени. Это означает, что произошло накопление определенной, в каком-то смысле, «критической массы» факторов и условий. С этой точки зрения среда и ее состояние имеют не менее важное значение, чем технологии, инвестиции и предпочтения в отдельности.

Литература

Energy Policy Act of 2005, Public Law 109–158, 109th Congress, 2005.

Kuuskraa V., Stevens S. How Unconventional Gas Prospers without Tax Incentives // Oil and Gas Journal. 1995. Vol. 93 (50).

MacAvoy P. Energy Policy: An Economic Analysis // N.Y., NY: W.W. Norton and Company, 1983.