

**Р.Д.МАГОМЕТ**, канд. техн. наук, доцент, *rmagmet@yandex.ru*  
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург

**R.D.MAGOMET**, *PhD in eng. sc., associate professor, rmagmet@yandex.ru*  
*National Mineral Resources University (Mining University), Saint Petersburg*

## ДОБЫЧА СЛАНЦЕВОГО ГАЗА

Рассматриваются экономические, технические и экологические аспекты освоения и развития добычи природного газа из сланцевых пород. Проводится сравнительный анализ опыта добычи сланцевого газа в США, ЕЭС, России.

**Ключевые слова:** добыча сланцевого газа, экологические проблемы, рынок природного газа.

## PRODUCTION OF SLATE GAS

In article economic, technical and ecological aspects of development and development of production of natural gas from slate breeds are considered. The comparative analysis of experience of production of slate gas is carried out to the USA, EEC, Russia.

**Key words:** production of slate gas, environmental problems, market of natural gas.

Добыча нетрадиционного газа, особенно сланцевого – явление последних лет. Это самый молодой бизнес в мировой газовой практике.

Добыча газа в США за последние четыре года выросла на 15 %, преимущественно за счет разработки сланцевого газа. По оценке Кембриджской энергетической исследовательской ассоциации, к 2018 г. этот показатель может составить 180 млрд м<sup>3</sup> в год (27 %). К этому еще необходимо добавить более 200 млрд м<sup>3</sup> в год угольного метана и газа, добываемого из твердых песчаников (данные Международного энергетического агентства), что в совокупности составляет уже около половины всей американской газодобычи\*.

Также к добыче сланцевого газа приступила Канада, пока работы идут на двух основных месторождениях – Хорн Ривер и Монти.

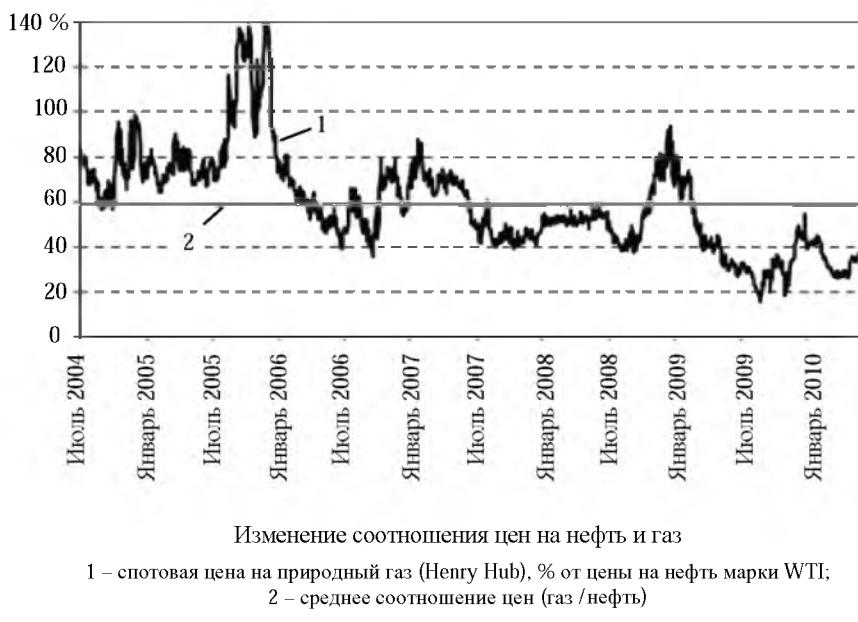
Прогноз газовых балансов до 2030 г. (согласно нефтегазового трейдера Эксон Мобил) свидетельствует о незначительных объемах добычи сланцевого газа в Европе до 2025 г., поскольку запасы и условия его разработки кардинально отличаются от американских. По мнению экспертов, перспективы оказаться в числе сланцедобывающих государств есть лишь у Китая.

Подтвержденные запасы нетрадиционного газа (сланцевый газ, угольный метан и газ плотных песчаников), по данным Международного энергетического агентства со ссылкой на Седигаз (Международная Ассоциация, занимающаяся сбором и распространением информации по природному газу), составляют 4 % от общих подтвержденных запасов газа в мире (182 трлн м<sup>3</sup>).

По оценке Международного энергетического агентства, добыча именно сланцевого газа к 2030 г. не превысит 7 % от общемировой.

\* Магомет Р.Д. Развитие добычи природного газа из сланцевых пород // Аэроботика и безопасность горных предприятий: Сб. науч. тр. Казань: Горное дело, ООО «Киммерийский центр», 2013. Вып.1. С.236-242.

Magomet R.D. Development of natural gas production from shale formations // Aerobotika and safety of mining enterprises: Collection of scientific works. Kazan: Publ. house «Mining», «Cimmerian centre» Ltd. 2013. Iss.1. P.236-242.



Более стремительный, чем ожидалось, рост добычи сланцевого газа в США привел к обвалу спотовых цен на газ не только на американском континенте, но и в Европе, так как недопоставленный газ в США из-за роста внутреннего потребления был перенаправлен в Европу, что негативным образом отразилось на поставках «Газпрома», цены в контрактах которого значительно превышали рыночные котировки. Газовая революция в США привела к значительному изменению соотношения между ценами на нефть и газ (см.рисунок)\*.

В США 70 % запасов связаны с бассейном Барнетт в Техасе, а 80 % ресурсов приходится на два новых бассейна Хайнсвилл и Маркеллус. В Канаде в стадии реализации находятся проекты Хорн Ривер и Монти. В Китае сланцевые поля разделены на четыре крупные провинции с суммарными ресурсами 21-45 трлн м<sup>3</sup>. Перспективы имеются в Балтийском бассейне в Польше, в Париж-

ском бассейне во Франции, в Саксонском бассейне в Германии и бассейне Купер в Австралии. В России месторождения сланцевого газа не разведываются, так как это пока не представляется целесообразным при наличии огромных запасов и ресурсов традиционного газа.

Сланцевый газ, состоящий преимущественно из метана, содержится в небольших количествах в самой осадочной породе (в низких концентрациях), и его можно извлечь путем вскрытия больших площадей, используя технологии гидроразрыва пласта (ГРП) и постоянного бурения большого количества длинных горизонтальных скважин с созданием трещин в скважине через определенные интервалы.

Основные ограничения в развитии добычи сланцевого газа в Европе можно объяснить следующими факторами:

- европейские месторождения сланцевого газа находятся на ранней стадии освоения и пока плохо изучены с точки зрения геологии и себестоимости добычи;
- интенсивное нарушение целостности недр;
- загрязнение растворами для ГРП водоносных пластов;
- затраты на освоение месторождения в Европе могут превышать американский уровень почти в 4 раза (источник: Вуд Маккензи).

\* Magomet R.D. Перспективы развития нетрадиционных источников энергии // Инновационность и безопасность: Сб. тр. науч.-техн. конференции. Институт инновационной техники ЭМАГ. г.Катовице, Польша. 2013. № 3(505). С.42-48.

Magomet R.D. Prospects of development of nonconventional energy sources // Innovation and safety: Collected papers of the scientific-technical conference / Institute of innovative technology EMAG. Katowice. Polend. 2013. N 3(505). P.42-48.

Снижение давления в неглубоко залегающих пластах постепенно приводит к перераспределению в них напряжений, подвижкам и даже техногенным землетрясениям силой 2-3 балла. Однако главной экологической проблемой сланцевого газа является загрязнение растворами для ГРП водоносных пластов.

Сланцевый газ является разновидностью природного газа, образовавшегося в недрах земли в результате анаэробных химических процессов (процессов разложения органических веществ). В недрах земли газ может быть сконцентрирован в следующих качествах: в виде скоплений метана в угольных пластах, газовых образованиях в пластовых условиях, попутного газа (смесь пропана и бутана) на месторождениях нефти, в толще жестких песков, в сланцевых пластах, а также в виде кристаллических газогидратов в толще морского дна.

Природный газ, в свою очередь, является смесью газов; большая их часть относится к метану, меньшая – к его гомологам, тяжелым углеводородам: этану, бутану, пропану. В состав природного газа также входят неуглеродные соединения: сероводород, водород, диоксид углерода, гелий, азот. Каждое месторождение имеет уникальный химический состав газа. Наиболее ярко выраженными свойствами, вызывающими парниковый эффект, обладает метан.

Современная технология добычи сланцевого газа подразумевает бурение одной вертикальной скважины и нескольких горизонтальных скважин длиной до 3 км. В пробуренные скважины закачивается смесь воды, песка и химикатов, в результате гидроудара разрушаются стеки газовых коллекторов и весь доступный газ откачивается на поверхность. Процесс горизонтального бурения проводится посредством инновационной методики сейсмического моделирования 3D GEO. При бурении горизонтальной скважины необходимо следить за тем, чтобы скважина пролегала сугубо в толще сланцевого пласта на достаточном расстоянии от его границ, в противном случае метан мигрирует через трещины и другие отверстия в верхний слой осадочных пород.

Газовые коллекторы в сланцевом пласте имеют свои отличия и сконцентрированы:

- в порах сланца аналогично газу в плотном песке;
- в виде скоплений возле источника органических веществ подобно метану в угольных пластах;
- подобно скоплениям в природных переломах.

Теоретическая база технологии гидроразрыва пласта была разработана в 1953 г. акад. С.А.Христиановичем совместно с Ю.П.Желтовым в Институте нефти АН СССР. Первые экспериментальные разработки в области газодобычи из сланца начали проводиться компанией «Митчелл Энерджи&Дивелопмент» во главе с Джорджем П.Митчеллом с 1980 г. в США. Полигоном для испытаний технологии горизонтального бурения стало месторождение Барнетт Шейл. Для разработки эффективной технологии горизонтального бурения с гидроразрывом пласта понадобилось около 20 лет экспериментов. В настоящий момент «Чиспик Энерджи» разрабатывает месторождения в Барнетт Шейл, Файетвилл Шейл, Маркеллас Шейл, Хайнсвилл Шейл.

Опыт добычи в американских сланцевых бассейнах показывает, что каждое сланцевое месторождение требует индивидуального научного подхода и имеет совершенно уникальные геологические особенности, характеристики эксплуатации, а также существенные проблемы добычи.

Качественным показателем газовой эффективности сланца является содержание керогена (углеродсодержащей органики). К наиболее термически зрелым сланцам (тип III) относят месторождения «сухого газа» с керогеном, которые имеются в Хайнсвилл Шейл. Менее термически зрелые месторождения, относящиеся к типу II и образующие влажный конденсат, будут давать газ с примесями конденсата, что характерно для Игл Форд Шейл. Менее зрелые сланцы с керогеном типа I являются нефтеносными, т.е. содержащими нефть в сланцевых депозитах, к таким месторождениям относится Бэккен Шейл в Северной Дакоте.

Существует целый набор геохимических параметров, которые обуславливают добычу сланцевого газа и определяют себестоимость и стоимость результирующего продукта. Существенно влияет на себестоимость добывчи содержание глины в жестких песках, которая поглощает энергию гидроразрыва, что требует увеличения объема используемых химикатов. Каждое месторождение имеет уникальный объем диоксида серы.

Наиболее выгодными считаются «хрупкие» сланцы с большим содержанием диоксида кремния, эти месторождения содержат естественные переломы и трещины. Одна из причин, что месторождение Барнетт Шейл является продуктивным, связана с высоким содержанием кварца в сланце – 29-38 %, сланец в Барнетт Шейл очень хрупкий, поэтому требуется меньшая мощность гидроразрыва.

Наиболее сложным для бурения в США считается месторождение Хайнсвилл Шейл, оно отличается высоким давлением в породах, а также значительными скачками давления.

Любая промышленная технология имеет позитивные и негативные стороны. Изначально считалось что:

- значительные сланцевые месторождения газа находятся в непосредственной близости от конечных потребителей;
- разработку сланцевых месторождений с использованием глубинного гидроразрыва пласта в горизонтальных скважинах можно проводить в густозаселенных районах, единственной проблемой будет использование тяжелого транспорта;
- добыча сланцевого газа происходит без потери парниковых газов.

В процессе ведения работ и накопления опыта эксплуатации месторождений сланцевого газа в Барнетт Шейл, Файетвилл Шейл, Маркеллус Шейл, Хайнсвилл Шейл разработчики столкнулись со следующими проблемами:

– технология гидроразрыва пласта требует крупных запасов воды вблизи месторождений, для одного гидроразрыва используется смесь воды (7500 т), песка и химиков. В результате вблизи месторождений скапливаются значительные объемы отработанной загрязненной воды, которая не ути-

лизируется добывчиками с соблюдением экологических норм;

– как показывает опыт разработки Барнетт Шейл, сланцевые скважины имеют гораздо меньший срок эксплуатации, чем скважины обычного природного газа;

– формулы химического коктейля для гидроразрыва в компаниях, добывающих сланцевый газ, являются конфиденциальными. По отчетам экологов, добыча сланцевого газа приводит к значительному загрязнению грунтовых вод толуолом, бензолом, диметилбензолом, этилбензолом, мышьяком и др.;

– при добыче сланцевого газа имеются значительные потери метана, что приводит к усилению парникового эффекта;

– добыча сланцевого газа рентабельна только при наличии спроса и высоких цен на газ.

Химическая смесь компаний «Хеллибертон» включает: соляную кислоту, формальдегид, уксусный ангидрид, пропаргиловый и метиловые спирты, хлорид аммония. Компания «Чиспик Энерджи» применяет свой состав химической смеси. В целом газодобывающими компаниями для добывчи газа используется около 85 токсичных веществ, некоторые из них имеют следующее предназначение:

- соляная кислота способствует растворению минералов;
- этиленгликоль противостоит отложениям на внутренних стенах труб;
- изопропиловый спирт, гуаровая камедь и борная кислота используются в качестве загустителей и веществ, поддерживающих вязкость;
- глютаральдегид и формамид противостоят коррозии;
- нефть в легких фракциях используется для снижения трения;
- пероксадисульфат аммония противостоит распаду гуаровой камеди;
- хлорид калия препятствует химическим реакциям между жидкостью и грунтом;
- карбонат натрия или калия используется для поддержки баланса кислот.

Именно экологическая проблема, наряду с использованием большого количества воды для осуществления гидроразрыва, является наиболее острой при развитии слан-

цевой добычи в густонаселенных районах. Несмотря на то, что гидроразрывы проводятся гораздо ниже уровня грунтовых вод, токсичными веществами заражается почвенный слой, грунтовые воды и воздух. Это происходит за счет просачивания химических веществ через трещины, образовавшиеся в толще осадочных пород, в поверхностные слои почвы.

Наиболее успешные сланцевые месторождения относятся к палеозойской и мезозойской эре, имеют высокий уровень гаммаизлучения, который коррелирует с термической зрелостью сланцевого месторождения. В результате гидроразрыва радиация попадает в верхний слой осадочных пород, в районах сланцевой добычи газа наблюдается повышение радиационного фона.

Накопленный опыт американских добывающих компаний подчеркивает необходимость дальнейшего совершенствования технологии добычи сланцевого газа с целью контроля выбросов метана, загрязнения почвы и грунтовых вод, учитывая высокий уровень неопределенности в оценочных цифрах. К сожалению, на фоне картины истощения традиционных запасов газа сланцевый газ не сможет стать в ближайшее время достойной альтернативой природному газу, так как не соответствует современным экологическим требованиям к энергоресурсу. Перспективы крупной добычи сланцевого газа в настоящее время имеются только в слабозаселенных районах и в странах, которые согласны на снижение экологической безопасности.

С учетом вышеприведенных фактов и негативных факторов, связанных с несовершенством технологии добычи и загрязнением окружающей среды, можно утверждать, что сланцевый газ все равно является наиболее перспективным энергоресурсом в долгосрочной перспективе.

Анализ предпосылок развития мировой разработки сланцевых месторождений позволяет говорить о возникновении естественных рыночных регуляторов, которые приводят к процессам самоорганизации на энергетическом рынке. При возникновении естественной монополии на любом микромаркете инициируются процессы по внедрению продуктов-заменителей (субститутов), на роль которых претендует сланцевый газ.

Мировой газовый рынок представляет собой целую систему региональных рынков, которые развиваются независимо: Северной Америки, Южной Америки, Европы, Азии, Австралии.

Ценовая неоднородность мирового газового рынка, безусловно, повлечет перераспределение газового ресурса. В ближайшие годы потребление газа будет расти в Азии за счет роста объема потребления и снижения запасов. Газосланцевые потоки США после расширения газотранспортной инфраструктуры будут направлены, прежде всего, в Южную Америку и Азию, что повлечет увеличение предложения в Европе за счет перераспределенных газовых потоков, ранее направляемых в Азию.

Увеличение предложения на рынке ЕС при практическом сохранении объема спроса будет приводить к снижению цены товаров-субститутов, а рынок будет стремиться к увеличению числа поставщиков и исчезновению монополий.

Значительное изменение структуры европейского рынка может произойти после ввода в промышленную эксплуатацию сланцевых месторождений в Польше. На сегодняшний день ЕС в ближайшей перспективе планирует отказаться от российского газа и развивать региональную добычу в рамках европейской энергетической политики. Активная разведка месторождений в Польше 22 компаниями подразумевает, что к 2014 г. предполагается практически одновременный запуск скважин в эксплуатацию. Это позволит:

- поглотить газотранспортную систему Украины, запустить промышленное производство газа из сланца в Польше и Украине;
- обеспечить дополнительную газовую инфраструктуру для хранения запасов, поступающих из новых месторождений;
- развить новые газовые потоки.

## Выводы

1. Наиболее выраженное влияние сланцевый газ будет иметь на региональных рынках. Привлекательным сланцевый газ делает его близкое расположение к конеч-

ному потребителю. Высокая стоимость газодобычи будет компенсирована низкой стоимостью транзита. При появлении на рынке сланцевого газа все более будет выражена зависимость цены газа от региона, поэтому наиболее высокую норму прибыли будут иметь те компании, которые имеют региональные месторождения газа и могут обеспечить экономию на транзите.

2. Влияние сланцевого газа на мировой энергетический рынок будет иметь выраженный регулирующий характер,

причем степень влияния на региональных рынках будет значительно отличаться, а само влияние будет подчиняться различным законам из-за уникальных характеристик каждого из рынков. Подобные изменения приведут к некоторым geopolитическим изменениям.

3. Влияние сланцевого газа на региональные рынки нужно рассматривать только в совокупности с другими товарами-субститутами, а также в рамках сбалансированной региональной газовой инфраструктуры.