УДК 662.337

ПРИРОДНЫЙ СЛАНЦЕВЫЙ ГАЗ: ПРОГНОЗЫ И РЕАЛЬНОСТЬ

Осипов А.М., Шендрик Т.Г., Попов А.Ф., Грищук С.В.

Институт физико-органической химии и углехимии (ИнФОУ) им. Л. М. Литвиненко Национальной академии наук Украины, Донецк, Украина

АННОТАЦИЯ

Рассмотрена проблема добычи природного сланцевого газа (ПСГ). Приведены данные о нахождении ПСГ в земных недрах, размерах выявленных запасов по странам и континентам и технически извлекаемых объемах. Охарактеризована модернизированная технология добычи свободного газа из пластов горючих сланцев, главными особенностями которой является применение горизонтального бурения и гидроразрыва пластов и сейсмического моделирования 3D GEO с визуализацией. Показаны положительные и отрицательные стороны использования этой технологии. Предполагается, что промышленная добыча ПСГ в Украине может начаться через 5-10 лет с достижением пиковых объемов 10-15 млрд м^3 газа в год.

ВВЕДЕНИЕ

Идея получения природного газа (метана) из залежей горючих сланцев в последние годы стала чрезвычайно популярной. Залежи сланцев, содержащих природный сланцевый газ (ПСГ), находятся практически повсеместно, на всех континентах и в большинстве стран мира. Однако добыча ПСГ долгое время не могла быть организована в промышленном масштабе вследствие низкой концентрации метана в сланцевых пластах и их некоторых физико-химических свойств. Такая возможность появилась только благодаря практической реализации методов горизонтального бурения и гидроразрыва пластов. Теоретические основы этих технологических приемов были разработаны еще в 1953 г. в СССР акад. С.А. Христиановичем. Они успешно использовались в ограниченных масштабах в 70-80-х гг. XX ст. при разработке маломощных нефтегазовых месторождений. Экспериментальное осуществление технологии на сланцевых пластах начато Д.П. Митчелом (D.P Mitchell) в 1980 г. на базе месторождения Barnett Shale (штат Техас, США). И только через два десятилетия в 2002 г. американской компанией Devon Energy было произведено первое горизонтальное бурение с получением промышленных объемов ПСГ на этом месторождении. Таким образом и другим государствам была показана возможность использования собственных источников углеводородных энергоносителей, независимых от импорта из других стран и регионов.

В настоящее время ПСГ в промышленных масштабах добывается только в США и Канаде. В ближайшие 2-3 года осуществление промышленного производства ПСГ ожидается в Китае, Индии, Австралии, ЮАР, возможно — в Польше.

СЛАНЦЕВЫЙ ГАЗ В ПРИРОДЕ

Термином «сланцевый газ» обозначают две совершенно различные по составу и происхождению газовые смеси.

1) Искусственный (синтетический газ), образующийся из горючих сланцев при их термической обработке без доступа воздуха (пиролиз). Его усредненный состав (близок к составу коксового газа): 30 об. % CH_4, 10 об. % CO_2, 40 об. % H_2, остальное — CO, C_3H_8, C_4H_{10}, H_2O.

© Осипов А.М., Шендрик Т.Г., Попов А.Ф., Грищук С.В.

2. Природный сланцевый газ (по геологической терминологии — свободный), находящийся в пластах глинистых сланцев, содержавших или содержащих не менее 0,5 мас. % органического вещества. Основным компонентом ПСГ является метан (до 85-95 об. %); в небольших количествах содержатся горючие (этан, пропан, бутан, H_2, H_2S) и негорючие (CO_2, N_2, гелий) газы. Данная статья посвящена только ПСГ.

ПСГ является разновидностью природного газа, образовавшегося в земной коре в результате анаэробных химических процессов (процессов разложения органических веществ под воздействием высоких температур и давлений, в случае горючих сланцев — в основном, фитопланктона). В недрах земли газ может быть сконцентрирован в виде метана в угольных и сланцевых пластах, газовых образований в рыхлых песчаниках («газовые шапки»), попутного газа (смесь пропана и бутана) месторождений нефти, в толще жестких песков. Существует спорная гипотеза (В. и Н. Ларины), что вследствие водородной дегазации планеты метан в сланцах образуется постоянно при реакции глубинного H_2 с углеродной органикой сланцев [1].

Залежи сланцев, из которых можно добывать ПСГ, очень велики и находятся на всех континентах, где есть мощная толща осадочных пород. Однако распределены запасы ПСГ неравномерно и данные об их размерах противоречивы: ресурсы ПСГ в мире оцениваются в объемах 200-450 трлн м^3. Это является следствием отсутствия научно достоверных данных о природе ПСГ, зако-номерностях формирования месторождений, критериях их прогнозирования, поисков и разведки. Примерная схема нахождения свободного газа в земных недрах представлена на рис.1. В таблице представлены данные о распределении запасов сланцевого газа по регионам и странам [2].

Таблица. Запасы традиционного и технически извлекаемого сланцевого газа в некоторых странах

Регион, страна	Доказанные запасы традиционного газа, млрд м^3 *	Технически извлекаемые запасы сланцевого газа, млрд м^3 **
Европа		
Франция	5,6	3056
Германия	175,5	226
Нидерланды	1386	481
Норвегия	2037	2348
Великобритания	254,7	566
Дания	59,4	651
Швеция	—	1160
Польша	164,1	5292
Турция	5,66	425
Украина	1103,7	1188
Северная Америка		
США	7712	24395
Канада	1755	10980
Мексика	339	19272
Азия		
Китай	3028	36082
Индия	1072	1782
Пакистан	840,5	1443
Австралия	3313	11206
Африка		
ЮАР	—	13725
Ливия	1548	8207
Алжир	4500	6537
Южная Америка		
Венесуэла	5062	311
Аргентина	379,2	21904
Бразилия	365	6395
Чили	2801	1811
Парагвай	—	1754
Боливия	750	1358
* Данные из: Oil and Gas Journal. — 6 декабря 2010 г. — С. 46-49.		
** Данные из годового отчета Energy Information Administration (EIA) 2011 г.		

ТЕХНОЛОГИЯ ДОБЫЧИ СЛАНЦЕВОГО ГАЗА

Сланцевая наносная порода отличается высокой плотностью, низкой пористостью и проницаемостью, газ залегает в небольших изолированных «карманах» — порах и трещинах, не образуя значительных скоплений. Концентрация газа в сланцах намного меньше (0,2-3,2 млрд м^3/км^2), чем в углях и в природных газовых месторождениях. При коэффициенте отдачи 20 % извлекаемые запасы газа составляют от 0,04 до 0,6 млрд м^3/км^2, что в 50-100

раз меньше, чем для традиционных месторождений природного газа. Так что значительное количество ПСГ можно получать только за счет вскрытия мощных толщ и больших площадей. Для его добычи требуется пробурить множество скважин, каждая из которых дает лишь небольшой объем газа [3, 4].

Первая в мире коммерческая скважина в сланцевых пластах пробурена в США в 1821 г. во Фредонии (штат Нью-Йорк). Однако промышленная добыча начата американской компанией Devon Energy лишь в начале 2000-х годов на месторождении Barnett Shale (Техас), где в сланцевых пластах была пробурена горизонтальная скважина. Горизонтальное бурение стало одним из базовых методов добычи ПСГ: вместо множества одиночных вертикальных скважин пробуривается одна, от нее на большой глубине расходятся горизонтальные, длина которых может достигать 2-3 км. Затем в пробуренные породы под высоким давлением (до 150 МПа) закачивается смесь песка, воды и химикатов. Гидроудар разрушает перегородки газовых «карманов», освобождающийся газ откачивается через вертикальный ствол. Это дает довольно высокую эффективность и приемлемую себестоимость добычи. Процесс горизонтального бурения проводится посредством инновационной методики 3D GEO, которая предполагает сочетание геологических исследований и картирования с компьютерной обработкой данных, включая визуализацию. При бурении горизонтальной скважины важно соблюдать правила бурения, например, выбор правильного угла бурения, соответствующего углу наклона сланцевого пласта. Скважина должна пролегать точно в толще сланцевого пласта на достаточном расстоянии от его границ, в противном случае метан мигрирует через трещины и другие отверстия в верхние слои осадочных пород. В принципе подобный подход позволяет вести разработку в густонаселенных районах: минимальная инфраструктура на поверхности не требует отведения больших площадей. Однако имеется ряд отрицательных факторов подобной технологии.

Теоретическая база технологии гидроразрыва пласта (ГРП) 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 Mitchell Energy&Development во главе с Д.П. Митчеллом с 1980 г. в США. Эта компания в 2001 г. была куплена Devon Energy за $3,5 млрд. Полигоном для испытаний технологии горизонтального бурения стало месторождение Barnett Shale. В этом направлении с 1989 г. работал также Т.Л. Уорд и его компания Chesapeake Energy. Для разработки эффективной технологии горизонтального бурения с гидроразрывом пласта понадобилось около 20 лет экспериментов [1, 4].

В 2008 г. добыча газа в США выросла сразу на 7,5 %, в этом году из сланцев добыли 51,7 млрд м^3 газа. В 2009 г. объем добычи ПСГ составил более 80 млрд м^3 (свыше 12 % всей газодобычи), в основном (70 %) из одного месторождения Barnett, принадлежащего компании Chesapeake Energy. В США открыты крупные месторождения газоносных сланцев в пяти газоносных регионах: Haynesville, Barnett, Fayetteville, Marcellus, Woodford. Суммарная добыча из этих пяти регионов прогнозируется в следующих объемах: 2010 г. — 60 млрд м^3, 2012 г. — 95 млрд м^3, 2015 г. — 175 млрд м^3 [3, 5].

Из опыта эксплуатации пока единственного месторождения газоносных сланцев – Barnett, на котором организована добыча газа в крупных масштабах, можно сделать некоторые выводы. Глубина продуктивных отложений на этом месторождении 2000-2500 м, толщины газоносных сланцев от 30 до 200 м, общая пористость 4-5 %. Проект разработки предусматривал добычу 36,5 млрд м^3 двадцатью тысячами скважин. В 2006 г. было добыто 20 млрд м^3 газа из 6080 скважин, примерно 3,3 млн м^3 на скважину за год. К концу 2008 г. на этом месторождении было пробурено еще 11800 скважин и добыто 35,8 млрд м^3. С учетом работы ранее пробуренных скважин годовая добыча на скважину за два года упала, по-видимому, в 2 раза. Добыча из вновь пробуренных скважин не смогла компенсировать падение добычи из ранее пробуренных скважин. Предполагаемое среднее время работы скважины на этом месторождении менее 10 лет. Динамика добычи во времени по отношению к первоначальной величине притока газа из скважины составляет: 74 % к концу 1-го года, 33 % – 2-го, 21 % – 3-го, 16 % – 4-го, 13 % – 5-го, 11 % – 6-го. Добыча на одну скважину до полного истощения запасов может составить максимум 50 млн м^3. В среднем же суточный дебет составляет 6,26 тыс м^3/сут. Продажная цена газа в США в середине 2010 года – $170/тыс м^3. Тогда, с учетом указанного среднего суточного дебета, за год средний доход от одной скважины со-

ставит около $400 тыс. Бурение скважины с горизонтальным стволом стоит $3-4 млн, а на одну операцию ГРП тратится $100-200 тыс. Как видно из приведенных данных, даже без учета оперативных расходов и оплаты транспортировки газа, сегодняшние цены на газ делают добычу газа из сланцев на месторождении Barnett неокупаемой [3].

На основании опыта эксплуатации скважин на американских сланцевых месторождениях можно выделить ряд проблем.

1). Технология ГРП требует крупных запасов воды вблизи месторождений, для одного гидроразрыва используется 1000-7500 т воды, 30-50 % воды остается под землей, остальная откачивается погружными насосами. В результате скапливаются значительные объемы воды, под хранение которой занимаются существенные площади земли. 2). Сланцевые скважины имеют гораздо меньший срок эксплуатации, чем скважины обычного природного газа. 3). При добыче ПСГ имеются значительные потери метана, что приводит к усилению парникового эффекта. 1 сентября 2011 г. в Брюсселе опубликован отчет последних исследований Агентства по охране окружающей среды США. В результате приведены неоспоримые факты, что выбросы парниковых газов при добыче сланцевого газа больше, чем для угля, нефти и обычного газа, общий объем потерь метана при добыче газа составляет 3,6-7,9 %. 4). Добыча ПСГ рентабельна только при наличии спроса и высоких цен на обычный газ. 5). Формулы химической смеси для ГРП являются конфиденциальными (патенты или know-how). По отчетам экологов добыча ПСГ приводит к значительному загрязнению грунтовых вод толуолом, бензолом, диметилбензолом, этилбензолом, мышьяком и др. [2].

Некоторые компании используют солянокислотный раствор, загущенный с помощью полимера, для одной операции ГРП применяется 80-300 т химикатов (в год на одной горизонтальной скважине проводится в среднем 3 операции). Химическая смесь компании Halliburton составляет около 1,53 % от общего раствора и включает соляную кислоту, формальдегид, уксусный ангидрид, пропаргиловый и метиловые спирты, хлорид аммония. Компания Chesapeake Energy использует свой состав смеси, но её объем в гидрорастворе гораздо меньше — 0,5 %.

В целом, газодобывающими компаниями для добычи газа используется около 85 токсичных веществ, некоторые из них имеют следующее предназначение:

— соляная кислота способствует растворению минералов; — этиленгликоль противостоит отложениям на внутренних стенках труб; — изопропиловый спирт, гуаровая камедь и борная кислота используются в качестве загустителей и веществ, поддерживающих вязкость; другие используемые загустители: соли органических кислот, высокомолекулярные и коллоидные соединения нефти (гудрон, отходы); — глутаровый альдегид и форм-амид противостоит коррозии; — нефть в лёгких фракциях используется для снижения трения; — хлорид калия препятствует химическим реакциям между жидкостью и грунтом; — карбонат натрия или калия — для поддержки баланса кислот [2, 6].

В настоящий момент наносимый вред природной среде региона сланцевого бассейна в Пенсильвании носит характер экологической катастрофы. Именно экологическая проблема наряду с использованием большого количества воды для осуществления гидроразрыва является наиболее острой для развития сланцевой добычи в густонаселенных районах. Несмотря на то, что гидроразрывы проводятся гораздо ниже уровня грунтовых вод, токсичными веществами заражен почвенный слой, грунтовые воды и воздух. Это происходит за счет просачивания химических веществ через трещины, образовавшиеся в толще осадочных пород, в поверхностные слои почвы. В некоторых районах Пенсильвании в колодцах можно поджечь воду.

Отметим, что газосланцевая промышленность из-за экологической угрозы может развиваться только в малозаселенных районах, имеющих дополнительный запас воды. Соответственно, газосланцевая добыча — это прерогатива больших стран, имеющих незаселенные территории.

Ряд экспертов полагает, что ПСГ обходится значительно дороже, чем заявляют добывающие компании. По их мнению, реальные затраты на получение газа составляют $212-283 на 1 тыс м^3. Некоторые специалисты полагают, что компании, осуществляющие добычу ПСГ, искусственно занижают его себестоимость [1, 4].

Как показывают открытые данные о добыче газа, средний «срок жизни» газовых скважин традиционных месторождений составляет в США 30-40 лет, жизненный цикл скважин при добыче ПСГ на Barnett не превышает 8-12 лет. Эксперты обращают внимание на то, что это

в Америке с ее просторами можно без особых проблем бурить десятки тысяч скважин на участках в тысячи квадратных километров. В густонаселенной Европе добывающие компании вряд ли смогут позволить себе подобную роскошь, что резко уменьшает привлекательность проектов по добыче ПСГ. Безусловно, ПСГ представляет собой весьма перспективный ресурс. Очевидно, что его добыча будет расти, но этот газ не будет дешевым.

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. Объем доступного газа в сланцевом слое прямо пропорционален толщине сланца. Очевидно, что наиболее выгодными являются толстые и термически зрелые сланцы. Как правило, они относятся к палеозойской и мезозойской эрам, в частности, к пермскому, девонскому, ордовикскому и силурийскому периодам. Существует целый набор геохимических параметров, которые обуславливают условия добычи сланцевого газа и, соответственно, определяют себестоимость и стоимость конечного продукта.

Тем не менее, отвергать перспективы добычи газа из сланцев в ближайшем и, тем более, в отдаленном будущем нет оснований. Широкое распространение газовых месторождений с огромными потенциальными запасами в этом типе осадочных пород – установленный наукой и практикой факт. Сегодня эти месторождения могут успешно эксплуатироваться на локальном уровне как источник ресурсов газа, компенсирующий снижение объемов добычи из-за истощения запасов традиционного газа в регионах с развитой транспортной инфраструктурой газораспределения и гарантированным спросом на газ.

ПРИРОДНЫЙ СЛАНЦЕВЫЙ ГАЗ В УКРАИНЕ

Газ из сланцев сегодня в Украине не добывается. По неофициальной информации запасы ПСГ в Украине составляют от 2 до 32 трлн м^3.

По подсчетам ДП «Укрнаукагеоцентр» ресурсы ПСГ в Восточной Украине составляют около 9,4 трлн м^3. По данным Госслужбы геологии и недр (Госгеонедр) Украины на 2012 г. прогнозные ресурсы Олесской площади (Люблинский бассейн, Львовская и Ивано-Франковская области) составляют около 2,5 трлн м^3, Юзовской (Днепровско-Донецкая впадина, Харьковская и Донецкая области) — от 4 до 10 трлн м^3. Пиковая добыча для Юзовской площади может составлять 10 млрд м^3 газа в год, для Олесской площади — 2,5-3 млрд м^3 в год [7].

Наиболее перспективным считается Шебелинское месторождение, глубина залегания составляет 6 тыс м; ожидаемый объем газа составит 400 млрд м^3. Основным фактором разработки будет рентабельность добычи, для Днепровско-Донецкой впадины характерно наличие газовых коллекторов больших объемов. Для промышленной разработки понадобится до 1000 скважин глубиной 3-6 тыс м.

В добыче сланцевого газа в Украине заинтересованы пять транснациональных компаний. По сообщению Министерства экологии и природных ресурсов, заявки на разработку Олесского участка подали концерны Shevron и ENI. За Юзовский участок соперничают Exxon Mobil, Shell и ТНК-ВР. В Киеве надеются, что на этапе промышленной разработки победители тендера вложат в освоение месторождений более 55 млрд грн.

23.02.2012 г Украина объявила конкурсы на заключение соглашений о разделе углеводородов, которые будут добываться в пределах Юзовской и Олесской площадей. Заявки на участие в конкурсе Госгеонедр принимал до 23.04.2012 г. Победители тендера на освоение сланцевых месторождений станут известны 23 мая 2012 г. [7].

Таким образом, Украина намерена осваивать собственные месторождения сланцевого газа. Однако жители тех районов страны, где находятся залежи углеводородов, не уверены в экологической безопасности добычи газа и готовят акции протестов.

Еще в ноябре 2011 г. парламент Украины внес в закон «О соглашениях о разделе продукции» изменения, которые позволяют правительству разрешать разработку месторождений в обход местных властей. В регионах эти изменения расценили как реакцию депутатов Верховной Рады на отказ Львовского областного совета включить Олесский участок в перечень объектов и территорий, которые могут быть переданы инвесторам в соответствии с соглашением о разделе продукции [8].

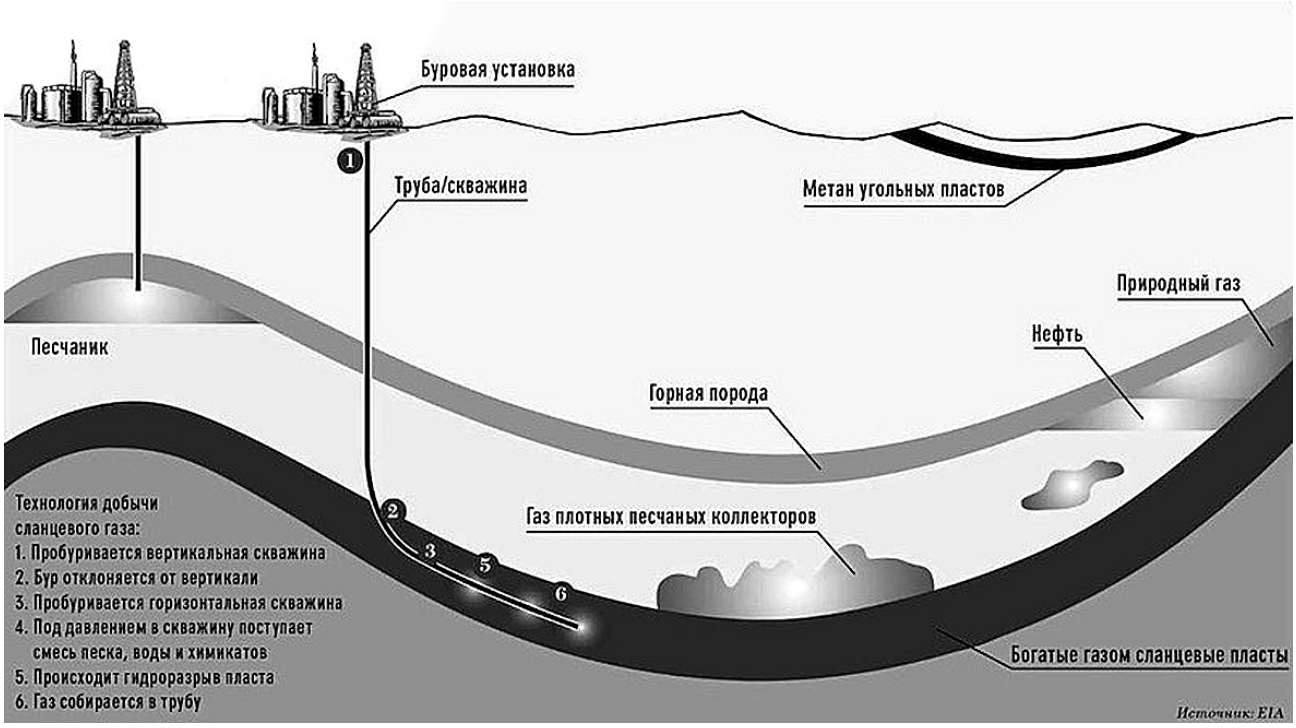

Рис.1 Диаграмма залегания газа разного типа: угольного метана, обычного и попутного газа, метана из жесткого песка, сланцевого газа [2]

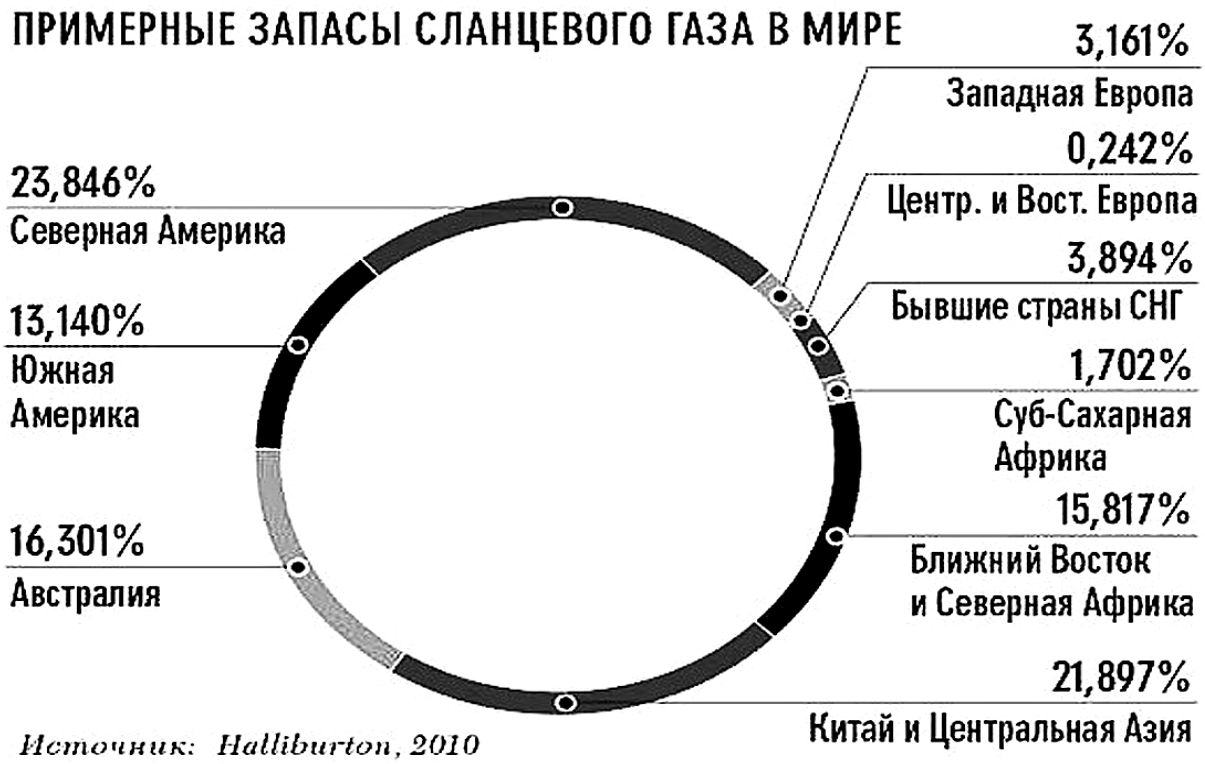

Рис.2 Примерные запасы сланцевого газа в мире по прогнозам Halliburton [2]

ВЫВОДЫ

Природный сланцевый газ (ПСГ) является одним из видов свободного природного газа (основной компонент — метан), различающихся по возрасту образования, органическим предшественникам и расположению в земных недрах.

Промышленная прибыльная добыча ПСГ возможна только при использовании технологии горизонтального бурения, гидроразрыва сланцевого пласта и продвинутого сейсмического 3D GEO моделирования.

Себестоимость добычи ПСГ в 4-10 раз выше добычи газа из традиционных месторождений.

Преимуществом добычи ПСГ является близость ее к потребителям, поэтому рыночная цена ПСГ, как правило, ниже цены трубопроводного газа.

Вследствие использования при гидроразрыве больших количеств пресной воды и вредных химических добавок и густой сети скважин добыча ПСГ имеет существенные экологические ограничения.

ПСГ в ближайшем будущем не может вытеснить с рынка трубопроводный и сжиженный природный газ.

При благоприятных условиях добыча ПСГ в Украине может начаться в течение ближайших 5-10 лет и достигнуть пиковых значений объемов 10-15 млрд $м^3$ в год.

ЛИТЕРАТУРА

1. Природный сланцевый газ (Natural Shale Gas) : Обзор. — Режим доступа : http://www.proza.ru/2010/02/06/468.
2. Сланцевый газ: мифы и перспективы мировой добычи. — Режим доступа : http://www.pronedra.ru/gas/2011/12/23/slancevyj-gaz.
3. Аксельрод, С., Басин, Я. Газ из глинистых сланцев и его место в энергетике будущего. — Режим доступа : http://www.-russianscientists.org/.../Akselrod_Basin_Gas.
4. Сланцевый газ. Материал из Википедии. — Режим доступа : http://www.ru.wikipedia.org/wiki/Сланцевый газ.
5. Сланцевый газ и проблемы энергообеспечения Украины / Д. С. Гурский и др. — Режим доступа : http://www.nbuv.gov.ua/-.../MRU_3_2010_title01.pdf.
6. Экологические последствия добычи слан-цевого газа. — Режим доступа : http://www.-energyfuture.ru/ekologicheskie-posledstviya-dobychi-slancevogo-gaza.
7. Промышленная добыча сланцевого газа в Украине. — Режим доступа : http://www.-bin.ua/news/economics/faec/127151.
8. Разведка сланцевых месторождений в Украине — чем недовольны граждане. — Режим доступа : http://www.korrespondent.-net/usiness/economics/1346466-dw-razvedka-slancevych-mestorozhdenij-v-ukraine-chem-nedovolny-grazdane.