

Сланцевый газ – новый вектор развития мирового рынка углеводородного сырья

А. Н. Дмитриевский¹ и В. И. Высоцкий²

Получено 28 апреля 2010; опубликовано 14 мая 2010.

Статья посвящена проблеме получения газа из глинистых сланцев, которая в последнее время приобретает глобальное значение. Согласно некоторым аналитическим прогнозам, освоение этого нетрадиционного вида энергоресурсов может привести к тому, что США, Европа и Китай в ближайшее десятилетие в значительной мере снизят свои импортные потребности, а в более отдаленной перспективе смогут полностью удовлетворить их за счет собственных ресурсов. В статье рассказывается об истории разработки сланцевого газа в США и дается общая оценка мировых ресурсов данного вида топлива, а также прогноз разработки месторождений и перспектив импорта и экспорта сланцевого газа в различных странах мира. **КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** сланцевый газ; энергоресурсы; рынок углеводородного сырья; плей.

Ссылка: Дмитриевский, А. Н. и В. И. Высоцкий (2010), Сланцевый газ – новый вектор развития мирового рынка углеводородного сырья, *Вестник ОНЗ РАН*, 2, NZ5001, doi:10.2205/2010NZ000014.

“Газовая революция”, “сланцевая лихорадка” и другие подобные заголовки статей в журналах и газетах, появившиеся в изобилии после Мирового газового конгресса (Буэнос-Айрес, октябрь 2009 г.), свидетельствуют о том, что интерес к новой для многих стран проблеме получения газа из глинистых сланцев приобретает глобальное значение. При этом некоторые аналитики прогнозируют, что, благодаря освоению этого нетрадиционного вида энергоресурсов, США, Европа и Китай в ближайшее десятилетие в значительной мере снизят свои импортные потребности, а в более отдаленной перспективе смогут полностью удовлетворить их за счет собственных ресурсов.

Начало промышленной добычи газа из сланцев относится к 80-м годам прошлого столетия, когда на северо-востоке штата Техас стали бурить неглубокие вертикальные скважины (150–750 м) и, используя гидравлическую стимуляцию, начали извлекать газ из глинистых сланцев каменноугольного возраста (формация Барнетт). Дебиты скважин составляли около 3 тыс. м³ в сутки, и запасы на скважину оценивались в среднем 7 млн. м³. Постепенно совершенствовалась технология добычи, и к 2000 г. она уже составила 13 млрд. В 2002 г. начался новый технологический этап – бурение горизонтальных скважин с многостадийным гидроразрывом и закачкой пропантов. Добыча стала расти, и уже в 2005 г.

составила 23 млрд. м³. С 2003 г. стали разведываться сланцевые поля в Оклахоме, Пенсильвании, Луизиане и других штатах. В 2009 г. добыча производилась на семи полях и достигла 67 млрд. м³ или 11,3% от общей добычи газа в США.

Кроме США началась добыча сланцевого газа и в Канаде на двух участках, которая в 2009 г. составила 5 млрд. м³ (2,6% от общей добычи газа в стране).

Говоря о сланцевых полях, обычно используют термин “плей”. Под плеем в нефтегазовой геологии понимается совокупность однотипно построенных месторождений, разведка которых ведется одинаковыми методами и техническими средствами. То есть газосодержащий сланцевый плей содержит, по-существу, одно месторождение, контуры которого определяются с помощью следующих параметров.

Первый – содержание глини. Сланец является горной породой, которая состоит из глинистых и неглинистых минералов (кварца и полевых шпатов). Содержание глини в газосодержащих сланцах не должно превышать 50 процентов, иначе сланец будет подвержен пластичным деформациям, а значит, не сможет образовывать трещины, которые являются основными путями миграции газа, т.е. определяют его проницаемость.

Второй – количество органического вещества. Оно должно превышать один процент, чтобы генерировать промышленные газовые скопления.

Третий – степень зрелости органического вещества в сланцах, которая в большинстве случаев определяется по отражательной способности витринита – микроскопических остатков высшей растительности. Она выражается в условных единицах и обозначается символом R₀. Мас-

¹Институт проблем нефти и газа РАН, Москва, Россия

²ОАО “ВНИИЗАРУБЕЖГЕОЛОГИЯ”, Москва, Россия

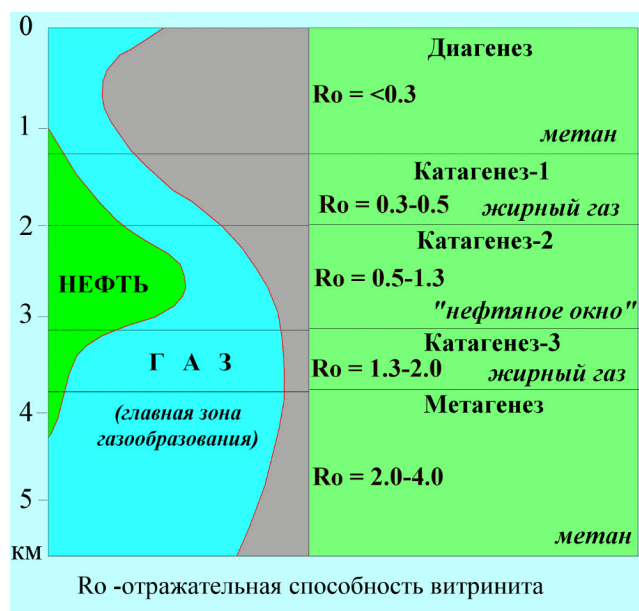


Рис. 1. Генерация углеводородов в стадии литогенеза.

совая генерация газовых углеводородов – главная зона газообразования фиксируется значениями R_o более единицы (Рис. 1)

Четвёртый – пористость. Она должна составлять не менее 3-х процентов, для того чтобы сланец содержал

достаточные для разработки объёмы газа.

В настоящее время в США оконтурено 37 газосланцевых плеев, суммарной площадью более 1 млн. км² (Рис. 2). Эти плеи обособляются главным образом в пределах осадочных бассейнов как платформенного (Пермский, Мичиганский, Иллинойс и др.), так и внутрискладчатого (Грин Ривер, Уинта, Парадокс и др.) типов [Shale Gas..., 2010]. По геологическому возрасту большая часть плеев содержит газоносные сланцы девона, карбона (миссисипий и пенсильваний), поздней юры и позднего мела. Следует отметить, что выявление газосланцевых плеев в США не требует существенных затрат, так как страна очень хорошо изучена бурением. Если в России степень изученности бурением осадочных бассейнов составляет около 22 м/км², то в США она на порядок выше, а в некоторых районах – континентальная часть бассейна Мексиканского залива превышает 360 м/км².

Наиболее изученным является плей Барнетт, расположенный на северо-востоке Техаса, в бассейне Форт Ворт (Рис. 3). Газосодержащие сланцы верхнего карбона одноимённой с плеем формации залегают на глубинах 750–2400 м [Kuuskraa and Stevens, 2009; Murray and Thomson, 2009]. Суточная добыча по состоянию на июль 2009 г. составляла 136 млн. м³.

На Рис. 4 приводится детальная характеристика плея Барнетт, на котором сейчас пробурено более 11800 скважин. Там выделяются три зоны. Первая зона (Core Area) наиболее изучена, её площадь составляет 5000 км². Степень зрелости ОВ – 1,5, запасы на скважину – около 70 млн. м³. Удельная плотность ресурсов –

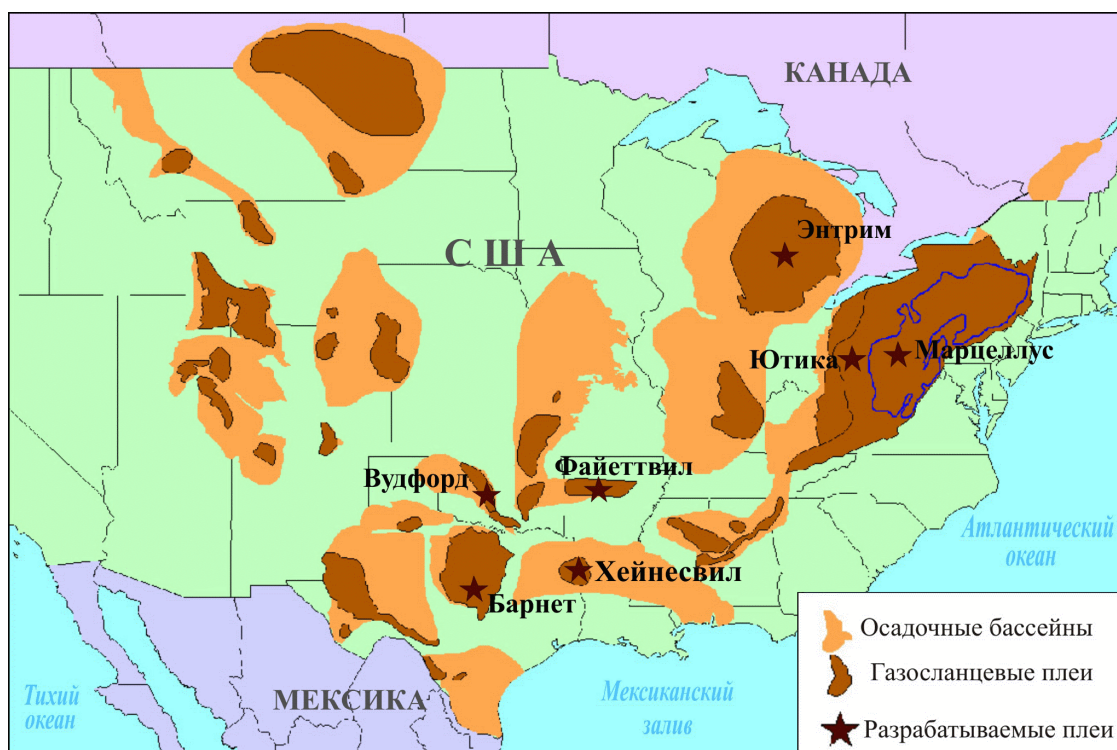


Рис. 2. Газосланцевые плеи США (по данным Petroleum Economist Map, March 2010).

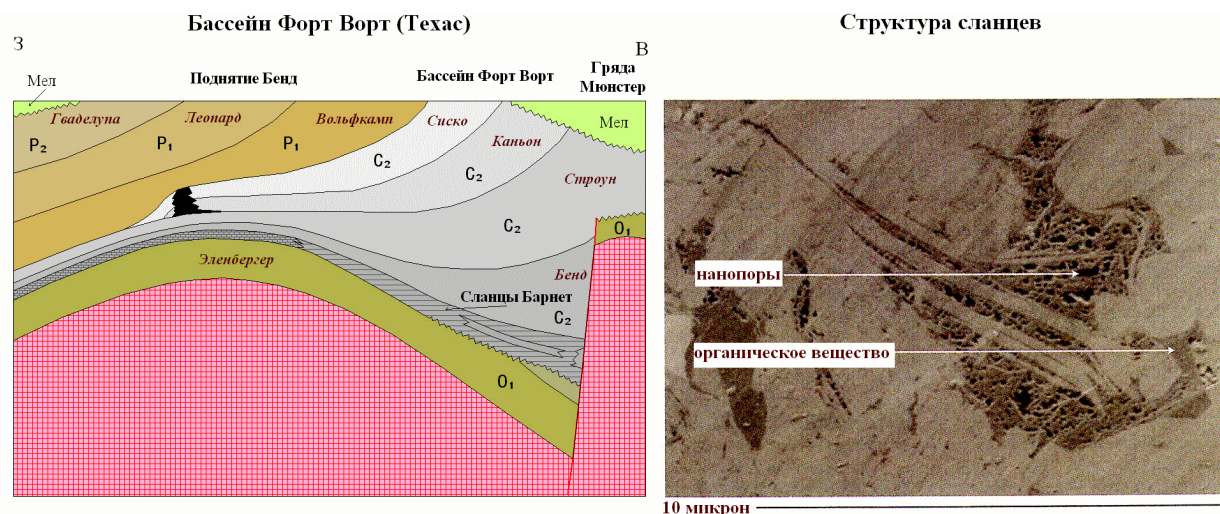


Рис. 3. Условия залегания и микроструктура сланцев Барнет (по данным *First Break*, April 2009).

150 млн. м^3 газа на один квадратный километр [Stevens and Kuuskraa, 2009].

Две другие зоны по площади больше. В первой зоне из них (Extension 1) удельная плотность запасов газа составляет 61 млн. $\text{м}^3/\text{км}^2$, а во второй (Extension 2) – 50 млн. $\text{м}^3/\text{км}^2$.

Протяженность горизонтального ствола скважин, которые сейчас бурятся, около 1200 метров. Используются 12 стадий гидроразрыва.

На Рис. 5 приведены параметры других плеев в США, а Рис. 6 характеризует два газосланцевых плея Канады [Canada..., 2009].

Следует отметить, что стоимость бурения скважины, включая операции по гидроразрыву пород продуктивного пласта, определяется её глубиной, протяжённостью горизонтальной части ствола и затрат на гидроразрыв изменяется от 3 млн. долл. (плей Барнетт) до 10 млн. долл. (плей Хорн Ривен).

Анализ данных по разрабатываемым плеям Северной Америки позволяет сделать следующие выводы:

1. Запасы на скважину в наиболее перспективных зонах (Core Area) изменяются от 80 млн. м^3 (Барнетт) до 140 млн. м^3 (Вудфорд). 2. Дебиты на начальном этапе составляют до 500 тыс. $\text{м}^3/\text{сутки}$. В течение года они сни-

Площадь	Глубина залегания	Мощность	Содержание глин	Пористость	Содержание ОВ	Зрелость R_o	Средняя удельная плотность ресурсов
20 500 км^2	1700 м (750-2400 м)	4,5-500 м	20-30%	0,5-6%	1-5%	>1	80 млн. $\text{м}^3/\text{км}^2$

Зона 1 (Core Area)		Зона 2 (Extension 1)		Зона 3 (Extension 2)	
Площадь	5 000 км^2	Площадь	10 000 км^2	Площадь	5 500 км^2
Зрелость R_o	>1,5	Зрелость R_o	1,2-1,5	Зрелость R_o	<1,2
Пористость	3%	Запасы на скважину	28 млн. м^3	Запасы на скважину	<28 млн. м^3
Содержание ОВ	>2%	Удельная плотность ресурсов	61 млн. $\text{м}^3/\text{км}^2$	Удельная плотность ресурсов	50 млн. $\text{м}^3/\text{км}^2$
Запасы на скважину	70 млн. м^3				
Удельная плотность ресурсов	151 млн. $\text{м}^3/\text{км}^2$				

Зона	Накопленная добыча*	Текущие запасы*	Неоткрытые ресурсы*	Начальные ресурсы*
Зона 1	105	340	311	756
Зона 2	42	226	340	608
Зона 3	3	28	254	285
Всего	150	594	905	1649

* - млрд. куб. м

- Первая скважина – 1981 год
- Первая горизонтальная скважина – 2002 год
- Всего – 11 800 скважин
- Средние запасы на скважину – 23 млн. м^3 , в том числе за последние 5 лет – 80 млн. м^3
- Плотность бурения – 3 скв./кв. км
- Продолжительность работы скважины – 8-12 лет
- Протяженность горизонтального ствола – 1200 м, 12 стадий гидроразрыва
- Стоимость скважины – 3 млн. долларов
- Удельные затраты – 99 долл./1000 м^3

Рис. 4. Характеристика газоносных сланцев Барнет (по данным *OGJ*, 36, September 2009).

Параметры	Плей Файеттвил (Арканзас, Оклахома)	Плей Марцеллус (С-В Пенсильвания)	Плей Вудфорд (Оклахома)	Плей Хейнесвил* (Техас – Луизиана)
Начало бурения	2003	2004	2006	2007
Геологический возраст	верхний карбон	девон	девон – нижний карбон	верхняя юра
Глубина залегания, м	600-1800	1500-2400	3600-4500	3600-4500
Мощность, м	15-100	30-60	~100	70-100
Содержание ОВ, %	>3	5	4,9	н.д.
Зрелость, R _o	2,5	1,2	0,7-4,9	н.д.
Количество скважин	~500	н.д.	>140	~60
Горизонтальный ствол, м	750-1200	н.д.	1500-3000	700-1250
Дебит на начальном этапе, тыс. м³/сут.	85	200	н.д.	до 500
Запасы на скважину, млн. м³	85	125	140	н.д.
Стоимость скважины, млн. долл.	3	3,5	8	10
Добыча в 2009 г., млрд. м³	13,5	2	5	5

* Аномальное давление, высокие t°, высокое содержание карбонатного материала, пористость 8-12%

Рис. 5. Характеристика разрабатываемых плеев США (обобщенные данные по публикациям *World Oil*, *OGJ*, *First Break* и др., 2008–2009 гг.)

жаются на 70%, затем начинается медленное падение до 15% и 10%. 3. Жизненный цикл скважины в большинстве случаев – 8–12 лет. 4. Удельная плотность ресурсов – 150–3500 млн. м³/км². 5. Стоимость скважины – от 3 до 10 млн. долларов. 6. Для интенсификации притока используется технология StageFrac с закачкой воды и пропантов (гранулированные алумосиликаты). 7. Себестоимость добычи газа – 100–150 долл./1000 м³. 8. Структура затрат: буровая установка – 20–25%, насосы высокого давления для гидроразрыва и интенсификации притока – 30–40%, трубная продукция – 10–15%.

В 2006 г. Национальный нефтяной совет США опубликовал первую оценку мировых ресурсов сланцевого газа (Рис. 7). Согласно этой оценке, на долю Северной Америки приходится 110 трлн. м³ (24% мировых ресурсов), на

Китай – 100 трлн. м³ (22%) и на страны бывшего СССР – 17,7 трлн. м³ (3,8%).

В конце 2008 г. весьма авторитетный Газовый комитет при Колорадском горном исследовательском центре значительно уменьшил ресурсы сланцевого газа и оценил их в 17,4 трлн. м³ для США. Эта оценка представляется более реальной [Europe..., 2009].

Если её принять за основу, то можно приблизительно оценить мировые ресурсы сланцевого газа следующим образом. Общая площадь осадочных бассейнов США составляет 6,9 млн. км². Разделив на эту величину последнюю оценку ресурсов сланцевого газа по США, получаем среднюю для США удельную плотность ресурсов сланцевого газа – 2,5 млн. м³/км². Суммарная площадь осадочных бассейнов мира составляет 117 млн. км². Умно-

Параметры	Плей Хорн Ривер	Плей Монтней
Геологический возраст	Средний девон	Нижний триас
Содержание глин, %	20-40	<30
Содержание ОВ, %	0,5-6	1-7
Зрелость, R _o	2,2-2,8	0,8-2,5
Глубина залегания, м	2500-3000	1700-4000
Мощность, м	150	>300
Пористость, %	3,2-6,2	1-6
Ресурсы, трлн. м³	4-17	2,2-19,8
Плотность ресурсов, млн. м³/км²	664-3500	78-1700
Дебиты скважин, тыс. м³/сутки	450*	45
Количество скважин (на середину 2009 г.)	~20	234
Стоимость скважины, включая гидроразрыв, млн. кан. долл.	7-10	5,8

* На начальной стадии разработки

Источник: OGJ, Dec. 14, 2009

Рис. 6. Характеристика разрабатываемых газосланцевых плеев Канады (по данным *OGJ*, 14 Dec. 2009.)

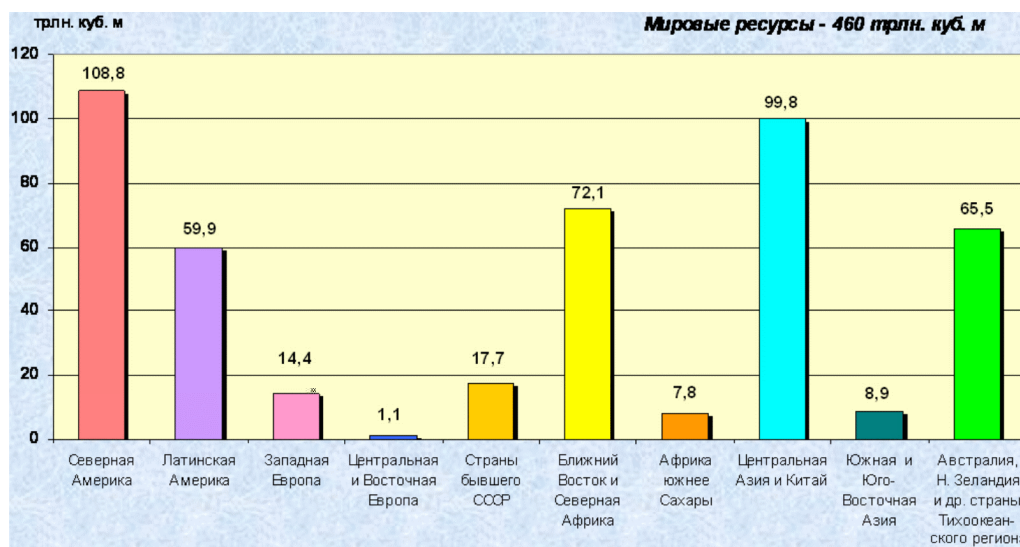


Рис. 7. Ресурсы сланцевого газа и их распределение по географическим регионам (по данным *Petroleum Economist*, Dec. 2009; оценка National Petroleum Council, 2006).

жая последнюю на величину средней удельной плотности ресурсов, для США получаем 295 трлн. м³. Убрав из этой величины площади периконтинентальных бассейнов, где по геологическим соображениям развитие зрелых газосланцевых плеев маловероятно, получаем величину мировых ресурсов сланцевого газа в размере около



Рис. 8. Основные районы поисков сланцевого газа в Европе.

200 трлн. м³. Конечно, это грубая оценка, но она представляется более реальной, чем сделанная Национальным нефтяным советом США в 2006 г.

Используя тот же алгоритм расчёта для Западной и Восточной Европы (суммарная площадь осадочных бассейнов здесь 4,5 млн. км²), Китая (4,9 млн. км²) и России (8,1 млн. км²) получаем следующие значения ресурсов сланцевого газа для этих территорий – 11,2 трлн. м³, 12,2 трлн. м³ и 20,1 трлн. м³ соответственно.

В настоящее время газосланцевый потенциал наиболее активно, помимо США и Канады, изучается в Европе и в Китае. В Европе на базе Национального центра геонаук Германии в Потсдаме создана многонациональная исследовательская группа, в которую вошли специалисты из многих университетов, национальных геологических служб и специализированных институтов, в частности Французского института нефти, с привлечением консультантов из США. Первоочередными объектами их исследования являются силурийские сланцы в Польше, на морские и псидониевые (верхнеюрские) сланцы в Германии и Нидерландах, кембрийские сланцы Алюм на юге Швеции.

Ряд крупнейших нефтяных компаний приобрел лицензии на разведку сланцевого газа в Польше, Германии, Швеции, Австрии, Франции и других странах (Рис. 8). С нашей точки зрения, наибольшими перспективами обнаружения газосланцевых плеев располагает Польша и прежде всего её северная часть – Гданьская впадина. В этом районе главным объектом являются силурийские сланцы, залегающие на глубинах от 500 до 3500 м. Польское Министерство охраны окружающей среды уже выдало 44 лицензии на разведку сланцевого газа в стране, в том числе компаниям “ConocoPhillips”, “Marathon”, “ExxonMobil” (все США) и “San Leon Energy” (Ирландия) в партнёрстве с компанией “Talismán” (Канада). В част-

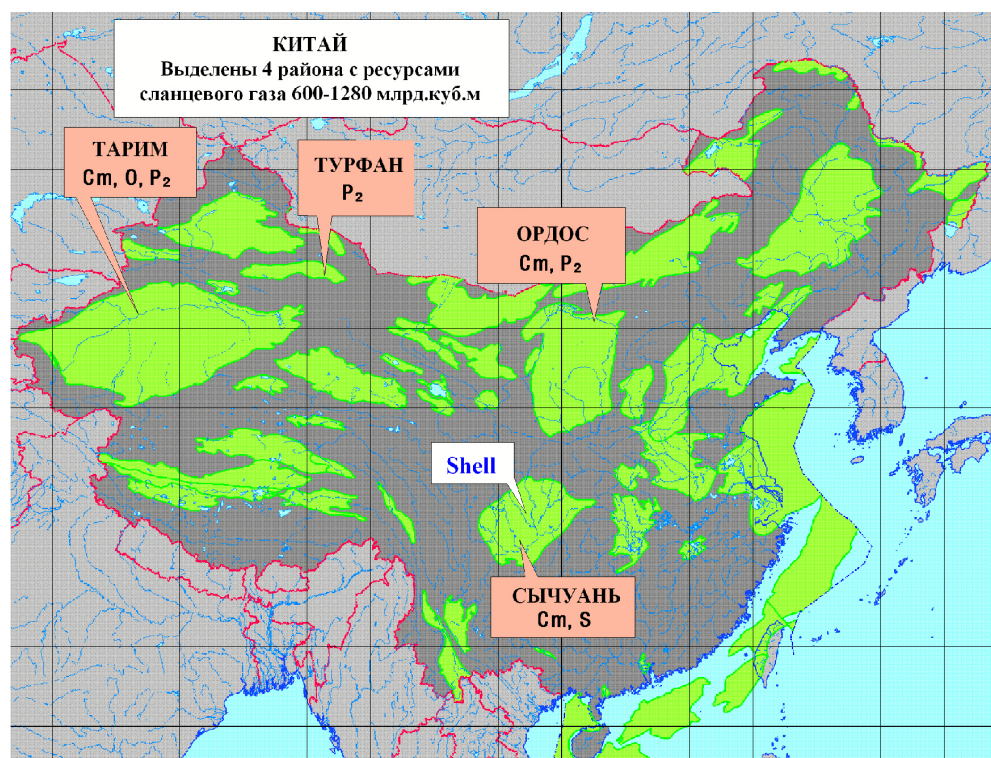


Рис. 9. Первоочередные районы поисков сланцевого газа в Китае.

ности, компания “San Leon Energy” оценивает ресурсы двух своих концессионных участков от 113 до 170 млрд. м³ сланцевого газа.

В Китае, по сообщению национальной компании

“Sinopec”, выделено 4 первоочередных района в бассейнах Тарим, Турфан, Ордос и Сычуань, где ресурсы сланцевого газа оцениваются в интервале от 600 до 1280 млрд. м³ (Рис. 9). По мнению этой компании, суммарные ресурсы

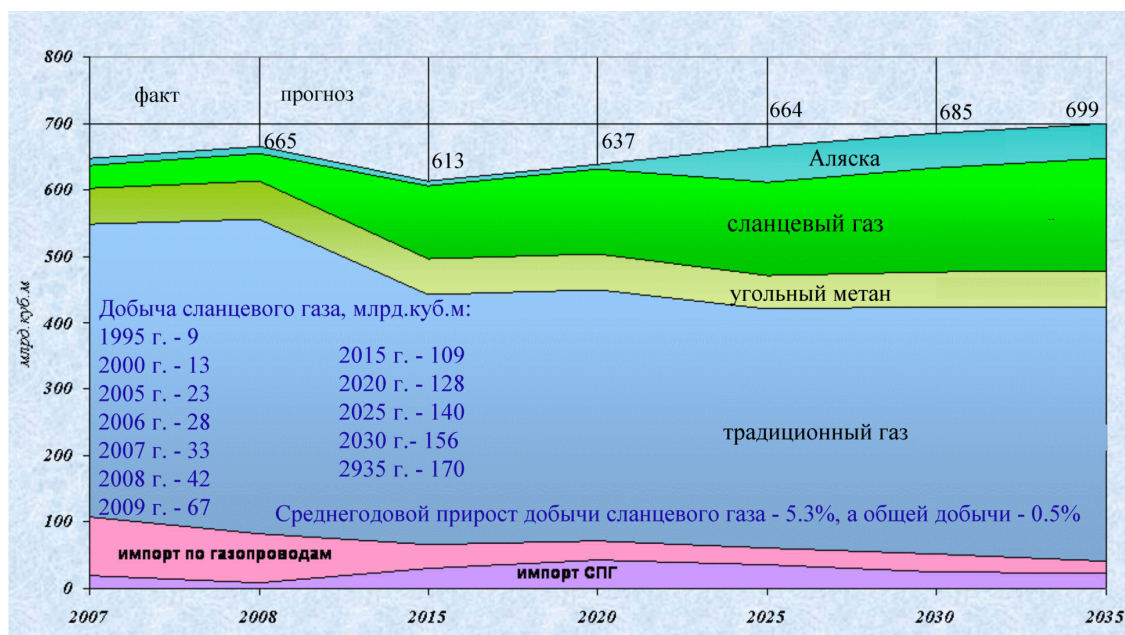


Рис. 10. Динамика потребления газа в США, млрд. м³.

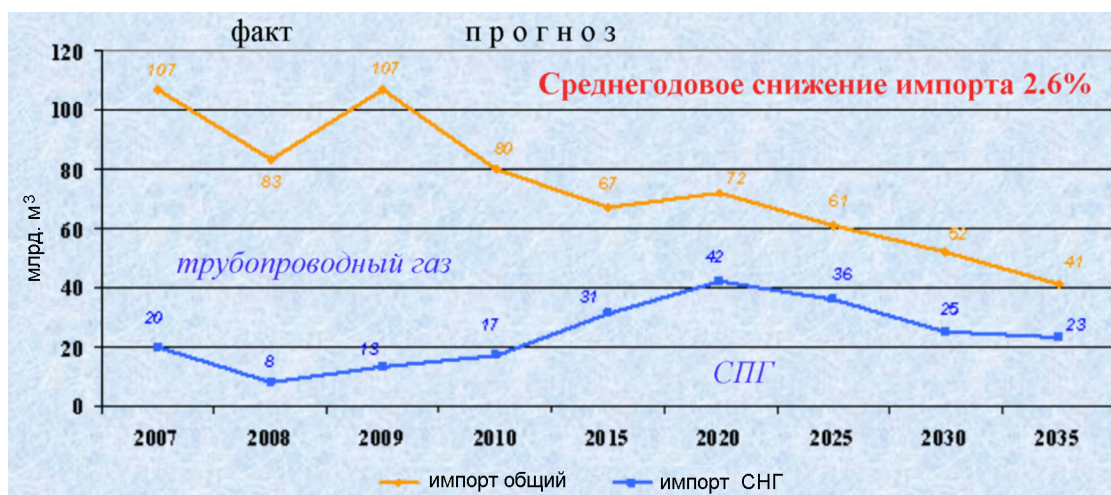


Рис. 11. Динамика и прогноз импорта газа в США, млрд. м³ (по данным ЕИА, 2010.)

сланцевого газа в стране составляют 45 трлн. м³.

В ближайшие 5–7 лет добыча сланцевого газа может начаться в Польше, Китае и в Австралии. В последней активная разведка сланцевого газа осуществляется в центральных районах страны – в бассейнах Купер-Эроманга и Амадеус.

Тем не менее, ведущая роль в добыче сланцевого газа в обозримом будущем будет принадлежать США. Согласно последнему прогнозу статистического агентства при Министерстве энергетики США – Energy Information Administration, опубликованному в начале 2010 г., добыча сланцевого газа в США будет расти до 2035 года со среднегодовым приростом 5,3% (Рис. 10). В 2015 г. добыча этого газа составит 109 млрд. м³, в 2020 г. – 128 млрд. м³, в 2025 г. – 140 млрд. м³, в 2030 г. – 156 млрд. м³, в 2035 г. – 170 млрд. м³. Таким образом, доля сланцевого газа в общем объеме добычи газа в США в 2015 г. составит 20%, а в 2030 г. – 24,6% [Annual..., 2009].

Рост добычи приведет к снижению импорта газа. Так, в 2009 г. общий объем импорта составил 107 млрд. м³, в том числе 13 млрд. м³ в виде СПГ. К 2020 г. общий импорт сократится до 72 млрд. м³, а к 2030 г. – до 52 млрд. м³. При этом импорт СПГ будет расти до 42 млрд. м³ в 2020 г., а затем начнет его снижение до 25 млрд. м³ в 2030 г. Таким образом, к 2030 г. общий объем импорта газа в США по сравнению с 2009 г. снизится в 2 раза (Рис. 11).

В заключение отметим, что сланцевый газ – не миф, а реальность пока только в США и Канаде. Развитие сланцевой индустрии может привести к снижению импорта газа в основных газопотребляющих странах, приостанов-

ке или отмене ряда проектов по строительству заводов СПГ и регазификационных терминалов, к изменению ценообразования на газ.

В России использование сланцевого газа целесообразно лишь для местных нужд удаленных от газотранспортных систем, где его разведка и добыча будут экономически более выгодными, чем строительство газопроводов.

Литература

- Annual Energy Outlook 2010 (2009), *Early Release Overview*, Dec. 2009, p. 1–6.
 Canada looks to Shales for boost to gas supply (2009), *Oil and Gas J.*, Dec. 14, 2009, p. 18–22.
 Europe awaits a shale-gas revolution (2009), *Petroleum Economist*, Dec. 2009, p. 14–15.
 Kuuskraa, Vello, Scott Stevens (2009), Lessons learned help optimize development, *Oil and Gas J.*, No. October, 52–57.
 Murray, Roth, Amanda Thomson (2009), Fracture interpretation in the Barnett Shale using macro and microseismic data, *First Break*, 27, 83–88.
 Shale-Gas Plays of North America (2010), *Petroleum Economist Ltd.*, March 2010 (map)
 Stevens, Scott, Vello Kuuskraa (2009), Special Report: Gas Shale-1: Seven Plays dominate North America activity, *Oil and Gas J.*, No. September, 36–41.

В. И. Высоцкий, ОАО «ВНИИЗАРУБЕЖГЕОЛОГИЯ», Москва, Россия (vlad.vysotsky@vzg.ru)

А. Н. Дмитриевский, Институт проблем нефти и газа РАН, Москва, Россия (a.dmytrievsky@ipng.ru)