



**В.П. Дробаденко**  
д-р техн. наук  
РГГРУ  
профессор  
drobadenko@mail.ru



**А.Г. Милютин**  
д-р геол.-мин. наук  
МГОУ  
профессор



**И.С. Калинин**  
канд. техн. наук  
РГГРУ  
доцент



**Р.А. Ганджумян**  
канд. техн. наук  
РГГРУ  
профессор



**О.А. Луконина**  
канд. техн. наук  
РГГРУ  
доцент



**А.Л. Вильмис**  
канд. техн. наук  
РГГРУ  
доцент

# Особенности освоения месторождений сланцевого газа

*Приводится обзор ресурсов сланцевого газа в мире и опыт его добычи в США и Канаде. Проанализированы основные факторы, влияющие на освоение месторождений сланцевого газа: геологические и производственные особенности, экономические факторы и экологическая безопасность*

*In the report is given the review of assignment of the shale gas resources all over the world and the revision of the getting experience of shale gas in USA and Canada in particular. The main factors influencing the shale gas exploration are analyzed: geological and processing features, economic forces and ecological problems*

**Ключевые слова:** сланцевый газ, ресурсы и запасы газа, горизонтальные скважины, гидроразрыв пласта, химические реагенты, техногенные землетрясения, экологическая безопасность

**Keywords:** shale gas, gas resources, horizontal hole, hydraulic fracturing, chemical agents, environmental safety, man-caused earthquake

**О**ценка мировых запасов сланцевого газа сильно варьируется в зависимости от источников информации, что в основном связано с начальными стадиями геологоразведочных работ. Со-

гласно данным Института экономики и организации промышленного производства СО РАН (2011) и *US Energy Information Administration* (2011), ресурсы сланцевого газа планеты оцениваются примерно в 200 трлн м<sup>3</sup> [7].

По информации международного энергетического агентства (*World Energy Outlook*, 2009) мировые ресурсы сланцевого газа оцениваются в 456 трлн м<sup>3</sup>, что почти в 2,5 раза превышает запасы традиционных газовых месторождений, которые на сегодняшний день составляют 185 трлн м<sup>3</sup>.

В 2011 г. Американский институт *ARJ* дал оценку ресурсов сланцевого газа в Европе (*табл. 1*) [2].

Сегодня ведущая роль в добыче сланцевого газа принадлежит США, где разрабатываются 7 газосланцевых полей, а в Канаде – 2. В США за последнее десятилетие объем добычи вырос в 8 раз: с 8,3 млрд м<sup>3</sup> в 1998 г. до 67,2 млрд м<sup>3</sup> в 2009 г. (11,3% от общей добычи газа), а в Канаде добыча сланцевого газа составила 5 млрд м<sup>3</sup> (2,6% от национальной добычи газа) [3, 5]. В 2009 г. США стали лидером по объему газодобычи, в том числе благодаря сланцевому газу, рост добычи которого прогнозируется до 168 млрд м<sup>3</sup> в 2015 г. и 230 млрд м<sup>3</sup> в 2030 г. [7].

### Геологические условия

Под «сланцевым газом» в США понимают запасы метана, сосредоточенные в аргиллитах, алевролитах и собственно в сланцах. Это осадочные породы, содержащие в различных соотношениях глинистые, карбонатные и кремнистые частицы.

Пласты часто не имеют привычных для нефтяников покрышек, а иногда сами являются покрышками, поскольку обладают малой проницаемостью для расположенных ниже нефтяных и газовых залежей. Газовые сланцы одновременно являются материнскими породами и коллекторами. В естественных условиях массообмен в этих пластах ограничивается

диффузией, тем не менее, более плотные пласты обладают некоторой трещиноватостью, а также в них имеются пустоты, образовавшиеся в результате послонного отложения и последующего разложения органического вещества, которое и продуцирует сланцевый газ [6].

Контуры месторождения сланцевого газа ограничиваются следующими параметрами:

- содержание глини в газоносных сланцах не должно превышать 50%, иначе сланец будет подвержен пластическим деформациям, а значит, не сможет образовывать трещин;
- количество органического вещества должно превышать 1% для генерирования промышленных газовых скоплений;
- пористость должна составлять не менее 3% для того, чтобы сланец содержал достаточный для разработки объем газа.

Месторождения сланцевого газа занимают большие площади, но отличаются высокой рассеянностью и крайне низкой проницаемостью, которая фактически в тысячи раз меньше, чем у традиционных газовых залежей. Кроме того, сланцевый газ часто сверху не только не ограничивается покрышками, но также и не подстилается водой [7].

На территории России целенаправленные геологоразведочные работы на сланцевый газ не проводились. Была выполнена количественная оценка прогнозных ресурсов сланцевого газа в широком возрастном диапазоне от рифея до неогена включительно в отложениях регионов Русской Плиты и Предкавказья, Западной и Восточной Сибири, Сахалина и Камчатки, которые в целом составляют 9,5 трлн м<sup>3</sup> [4]. В то же время по различным оценкам ресурсы сланцевого газа в России варьируются от 20 до 100 трлн м<sup>3</sup> [7].

### Производственные особенности

Технология добычи сланцевого газа обеспечивается бурением горизонтальных скважин и про-

Распределение ресурсов сланцевого газа по странам Европы, млрд м<sup>3</sup>

Таблица 1

Страны Европы	Доказанные запасы традиционного газа	Геологические ресурсы сланцевого газа	Извлекаемые ресурсы сланцевого газа
Польша	164,3	22 440	5300
Франция	5,7	20 400	5100
Норвегия	2039,7	9430	2350
Украина	1104,8	5580	1190
Швеция	0	4650	1160
Дания	59,5	2610	650
Великобритания	255,0	2750	570
Нидерланды	138,8	1870	480
Германия	175,6	930	230
Литва	0	480	110
Итого:	3943,4	71 140	17 140

ведением многоступенчатого гидравлического разрыва пласта (ГРП). Обычно бурят 6–8 горизонтальных скважин на квадратную милю (2,3–3,1 кв./км<sup>2</sup>). Протяженность горизонтального участка ствола по продуктивному пласту изменяется от 600–1800 до 1800–2100 м – в газосланцевом поле Вудфорд в США.

Для гидроразрыва сланцевого пласта используется вода, содержащая песок или пропант в качестве расклинивающего материала, и до 2% химических реагентов для улучшения свойств смеси. Для проведения одного ГРП требуется около 4000 т воды и 200 т песка [5].

Начальные дебиты скважин составляют 40–230 тыс. м<sup>3</sup>/сут., иногда достигая 500–560 тыс. м<sup>3</sup>/сут., и характеризуются резким снижением в 3–4 раза и более уже в течение первого года работы скважин с более медленным падением в последующие годы. Поэтому в среднем в течение года на каждой скважине проводятся три операции гидроразрыва пласта. Жизненный цикл скважины ограничен 8–12 годами, а совокупная добыча газа колеблется от 28–85 до 100–140 млн м<sup>3</sup> на скважину [2]. Для сравнения, средняя продолжительность работы скважины на месторождениях традиционного газа составляет 25–30 лет и более.

Быстрое «истощение» сланцевой скважины требует бурения большого количества скважин со значительной протяженностью горизонтального ствола, разбуривания площади месторождения по плотной сетке, а также частого проведения многоступенчатых ГРП. В связи с этим требуется большой объем воды для закачивания в пласт, что может являться большой проблемой в странах с дефицитом водных ресурсов.

В целом технология добычи сланцевого газа трудоемкая, а коэффициент извлечения газа составляет около 20%, в то время как при добыче природного газа он равен 60–80% и более.

### **Экономическая эффективность**

В США интенсивный рост добычи сланцевого газа в начале 2000-х гг. является следствием дефицита более выгодных запасов, предпринимательской активности, целенаправленных действий властей и высоких цен на традиционный газ. Значительные инвестиции в его добычу сделаны в условиях, когда коммерческие цены на газ находились на исторических максимумах, превышая в среднегодовом исчислении 400 \$/тыс. м<sup>3</sup> [7].

Активному развитию добычи сланцевого газа способствовал ряд следующих благоприятных факторов:

- возможность дешевой аренды больших земельных территорий;

- накопление значительного опыта местными компаниями в области бурения горизонтальных скважин и проведения гидроразрывов пласта;

- хорошее развитие местной транспортной инфраструктуры для доставки оборудования и материалов к местам строительства скважин;

- наличие разветвленной системы магистральных газопроводов и распределительных систем, что обеспечивает простоту доставки добытого газа до потребителя;

- удобное географическое расположение крупных месторождений сланцевого газа – в местах добычи традиционного газа или на незначительном удалении от районов, где сосредоточены основные потребители;

- наличие значительных водных ресурсов, которые используются в процессе бурения и гидроразрыва пласта, а также возможность их утилизации;

- государственная и региональная поддержка добычи сланцевого газа;

- хорошая геологическая изученность страны в целом;

- менее жесткие экологические ограничения по сравнению с Европой [8].

Расходы на бурение скважин зависят от глубины залегания продуктивного пласта, характеристики месторождения, протяженности горизонтального ствола скважины, затрат на гидроразрыв и изменяются от \$3 млн до \$10 млн. Структура затрат следующая: буровая установка 20–25%, насосы высокого давления для гидроразрыва пласта и интенсификации притока 30–40%, трубная продукция 10–15% [3, 5].

Себестоимость добычи сланцевого газа зависит от горно-геологических условий конкретного газосланцевого поля и оценивается разными экспертами от 80–150 до 320–350 \$/тыс. м<sup>3</sup> в то же время себестоимость традиционного природного газа в зависимости от региона изменяется от 3 до 50 \$/тыс. м<sup>3</sup>.

В целом при операционных затратах на добычу сланцевого газа 80–150 \$/тыс. м<sup>3</sup> и амортизации 100–200 \$/тыс. м<sup>3</sup> полномасштабная реализация проектов освоения месторождений сланцевого газа может быть обеспечена только при уровне цен реализации потребителю не менее 350–500 \$/тыс. м<sup>3</sup> [7].

Россия обладает одними из самых значительных в мире объемами разведанных запасов традиционного газа (около 47 трлн м<sup>3</sup> или 24% мировых доказанных запасов), а суммарные ресурсы, включая шельфовые акватории, оцениваются примерно в 230 трлн м<sup>3</sup>, и также занимают первое место в мировом газовом балан-

се. Наша страна занимает первое место в мире и по объемам экспорта газа – около 160 млрд м<sup>3</sup>. Приведенные цифры характеризуют традиционную ресурсную базу газодобычи [2]. Из этого следует, что при достаточно высокой себестоимости сланцевого газа и имеющихся значительных ресурсах природного газа, добыча сланцевого газа в нашей стране не рентабельна.

### Экологические проблемы

Основные угрозы для реализации сланцевых проектов в плотно населенных регионах: изъятие значительных площадей из традиционного использования; попадание химических реагентов и газа в водоносные горизонты и системы водоснабжения; прямые или опосредованные повреждения поверхности и объектов инфраструктуры, как за счет вскрытия поверхности, так и в результате техногенных землетрясений и подвижек.

Формирование общественного мнения относительно операций по разработке сланцевого газа может повлиять на создание нормативно-правовой базы. В США был проведен опрос населения в одном из крупнейших регионов газоносных сланцев Барнетт с целью получения информации о проблемах, связанных с проведением добычных работ вблизи густонаселенных районов. В целом респонденты расценивали воздействие на окружающую среду, как одну из основных проблем, включающую управление транспортными потоками, уменьшение шума, эстетику, необычно высокую концентрацию в воздухе химических веществ в районе расположения буровых площадок и вблизи скважин, утилизацию воды, содержащей потенциально вредные химические вещества, выражали озабоченность по поводу загрязнения грунтовых вод, а также возможности более высокой сейсмоактивности, связанной

с добычей или закачкой в пласт воды для гидроразрыва. Проблемы здравоохранения и охраны окружающей среды расценивались в качестве основных [9].

В Европе законодательство более жесткое, поскольку недрами владеет государство, а не землевладелец, как в США. В 2010 г. Франция стала первой страной, где законодательно введен запрет на гидроразрыв пласта и добычу сланцевого газа. В некоторых странах Европы временно запретили технологии ГРП до получения большей ясности о его влиянии на окружающую среду.

В Западной Сибири интенсивная разработка газовых и нефтяных месторождений привела к возникновению ощутимых землетрясений в городах Сургуте, Тюмени и Нижневартовске. В Татарстане в районе Ромашкинского нефтяного месторождения, которое относится к сейсмически спокойным областям, с 1986 по 1992 гг. было зарегистрировано 391 местное землетрясение с магнитудой 0,1–4 и глубинами гипоцентров 3–8 км. Даже относительно слабые землетрясения с очагами, расположенными близко к поверхности, могут быть опасными для промышленных и жилых сооружений.

В заключение следует констатировать, что для освоения месторождений сланцевого газа необходим комплексный подход, учитывающий ряд факторов: конкретные геологические условия; технико-технологическое и кадровое обеспечение; плотность заселения территории, ее инфраструктуру и географическое положение, наличие водных ресурсов; степень энергозависимости от поставок природного газа; налогообложение при разработке месторождения; природоохранное законодательство и общественное мнение в оценке экологических рисков. ■

### Литература

1. Гафаров Н.А., Глаголев А.И. Нетрадиционные газовые ресурсы Западной Европы: оценки потенциала и геологоразведка // Газовая промышленность. 2012. № 676. С. 23–31.
2. Григорьев Г.А., Афанасьева Т.А. Перспективы промышленного освоения нетрадиционных ресурсов газа в России // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2012. Т. 7. № 2. С. 1–21.
3. Дмитриевский А.Н., Высоцкий В.И. Сланцевый газ – новый вектор мирового рынка углеводородного сырья // Газовая промышленность. 2010. № 8. С. 44–47.
4. Жарков А.М. Оценка потенциала сланцевых углеводородов России // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2011. № 3. С. 16–21.
5. Йост Ч. Сланцевая революция, или быть или не быть сжиженному газу на рынке США // Oil&Gas Journal Russia. 2010. № 7–8. С. 22–27.
6. Коржубаев А., Хуршудов А. Эхо сланцевой революции // Нефть России. 2010. № 9. С. 66–69.
7. Коржубаев А.Г., Эдер Л.В., Филимонова И.В. Ресурсы и реальный прогноз добычи сланцевого газа в мире // Экологический вестник России. 2012. № 1. С. 16–26.
8. Полоус К.Ю. Оценка влияния добычи сланцевого газа на перспективы развития газовой промышленности России // Проблемы экономики и управления нефтегазовым комплексом. 2010. № 8. С. 25–28.
9. Шелдон Д., Минаева Т. Сланцевый газ Великобритании. Опасная ли его добыча? // Oil&Gas Journal Russia. 2012. № 10.