

УДК 622.32

DOI: 10.23671/VNC.2015.1.55236

## ДОБЫЧА СЛАНЦЕВОГО ГАЗА МЕТОДОМ ГИДРОРАЗРЫВА ПЛАСТА: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ, РИСКИ И УГРОЗЫ

© 2015 Г.Г. Матишов<sup>1</sup>, академик, С.Г. Парада<sup>2</sup>, д.г.-м.н.

<sup>1</sup>ФГБУН Южный научный центр РАН, 344006, г. Ростов-на-Дону, пр. Чехова, 41, e-mail: matishov\_ssc-ras@ssc-ras.ru; <sup>2</sup>ФГБУН Институт аридных зон ЮНЦ РАН, 344006, г. Ростов-на-Дону, пр. Чехова, 41, e-mail: segripa@rambler.ru

Охарактеризовано современное состояние добычи сланцевого газа на основе технологии множественного гидроразрыва пласта в США. Показано, что именно в объединении технологии бурения горизонтальных скважин из вертикального ствола с использованием поворотных управляемых систем и технологии множественного гидроразрыва пласта заключается прорыв в освоении сланцевого газа и сланцевой нефти. Применение таких сложных технологий повышает себестоимость добычи, и значит, что сланцевый газ всегда будет дороже традиционного. Отмечается, что технологический прорыв в сфере добычи сланцевого газа способствовал тому, что США, импортировавшие газ до недавнего времени, теперь, обогнав Россию, являются крупнейшим его производителем в мире. На основе анализа опыта геологоразведочных работ в странах Европейского союза показано отсутствие значимых перспектив добычи сланцевого газа в этих странах, а также в Украине. Рассмотрено негативное влияние множественных гидроразрывов пласта на окружающую среду. При этом разделены химическое загрязнение, и геодинамическое воздействие. Сделано предположение, что распространение масштабов добычи сланцевого газа и нефти несет экологические риски и угрозы глобального масштаба.

Ключевые слова: сланцевый газ, гидроразрыв пласта, горизонтальное бурение, химическое загрязнение, геодинамическое воздействие, техногенные землетрясения

### Введение

В 1976 году Моргантауновский центр энергетических исследований США (лаборатория государственного Бюро горного дела) начал Восточный проект сланцевого газа. Задачей проекта было изучить возможности извлечения газа из сланцев и других нетрадиционных источников с целью ослабления нефтяной зависимости страны. В проекте приняли участие такие гиганты американской науки, как национальные лаборатории в Лос-Аламосе, Ливерморе, Лоуренсовская и Сандийская лаборатории, а также многие университеты и частные компании.

Министерство энергетики США, совместно с другими федеральными агентствами, как на уровне штатов, так и на уровне всей страны, в течение тридцати лет щедро финансировало отработку технологии. Именно с ее помощью в 1977 году в Колорадо впервые был произведен массовый гидроразрыв пласта для извлечения газа. Помимо прямых инвестиций в размере 100 млн. долларов в 1970-1980-х годах, министерство методически способствовало развитию технологий, которые обеспечили сегодняшний уровень производства сланцевого газа. Основными направлениями финансирования при этом были сама по себе технология горизонтального бурения, совершенствование буровой техники, использование многозонального гидроразрыва пласта (ГРП) и реагентов на водной основе, снижающих поверхностное натяжение, а также создание методик для построения трехмерных карт на основании микросейсмических данных.

В 1986 году впервые и опять же за государственный счет был произведен успешный множественный гидроразрыв пласта. Даже сами американские энергетики отмечают, что без официальной поддержки правительства и вложений бюджетных средств этой технологии не было бы вообще, и не было бы сейчас на рынке США газа из сланцев. А чтобы активизировать работу по разработке сланцевых месторождений, были розданы десятки тысяч акров федеральных земель, введены налоговые льготы для фирм и компаний-разработчиков. Так, в соответствии со Статьей 29 Закона США о налогообложении сверхприбыли сырой нефти «Нетрадиционные виды топлива» производители газа из нетрадиционных источников с 1980 по 2002 г. получали льготы в размере около 18 долл./тыс. м<sup>3</sup> [Мельникова, 2012]. За этот период добыча нетрадиционного газа выросла в четыре раза.

Все это сделало добычу сланцевого газа в США привлекательным бизнесом. Сегодня добычей сланцевого газа занимается настолько много компаний, что даже в Америке никто не может назвать их точное количество. Они добывают газ из сланцев на значительной части территории США (рис. 1). Согласно опубликованному в июне 2012 г. периодическому обзору DOE «Natural gas Year-in-Review», добыча сланцевого газа в США в 2011 г., составила 214,1 млрд. м<sup>3</sup>. Лидерами являются плей Haynesville (65 млрд. м<sup>3</sup>), Barnett (48,9 млрд. м<sup>3</sup>) и Marcellus (35,4 млрд. м<sup>3</sup>). По сравнению с 2010 г. (145 млрд. м<sup>3</sup>), общий прирост за год составил 47,6%. В дальнейшем прогнозируется некоторое уменьшение прироста.

### **Что такое сланцевый газ?**

Сланцевый газ это собирательные названия группы нетрадиционных ресурсов углеводородов (УВ). Согласно [Якуцени и др., 2009] это газы и нефти в плотных формациях и низко проницаемых коллекторах. К ним относятся ресурсы газа и нефти в глинистых сланцах, аргиллитах и в плотных песчаниках. Они, как и газы угленосных отложений, привлекают в последние десятилетия наибольшее внимание.

Углеводороды (нефть и газ) образуются из морских осадков, обогащенных органическими веществами, при постепенном погружении в недра земной коры, где на них воздействуют повышенные температура и давление. В зависимости от возраста, температуры и глубины залегания эта органика или полностью превратится в газ, или сохранит какие-то промежуточные формы – нефть, газовый конденсат или так называемый жирный газ, содержащий не только метан, но этан, пропан и бутан. В процессе образования все они выдавливаются в соседние, более проницаемые пористые породы (коллекторы) и мигрируют в области с наименьшими температурами и давлениями, где при благоприятных условиях накапливаются в так называемых ловушках, формируя традиционные месторождения с легко извлекаемыми запасами углеводородного сырья. На некотором этапе преобразований минеральные частицы, слагающие осадок, цементируются, поры перестают сообщаться между собой и, не успевшие покинуть их углеводороды остаются закупоренными в осадочной породе (рис. 2), которая представляет собой уже не рыхлый осадок, а плотный сланец или песчаник (низко проницаемый коллектор).

Газ и другие УВ в таких породах плохо подвижны или неподвижны совсем в условиях недр. Поэтому эти ресурсы УВ, в отличие от традиционных, нуждаются в специальных способах извлечения из пластов. А это существенно повышает их себестоимость и значит, что сланцевый газ всегда будет дороже традиционно-

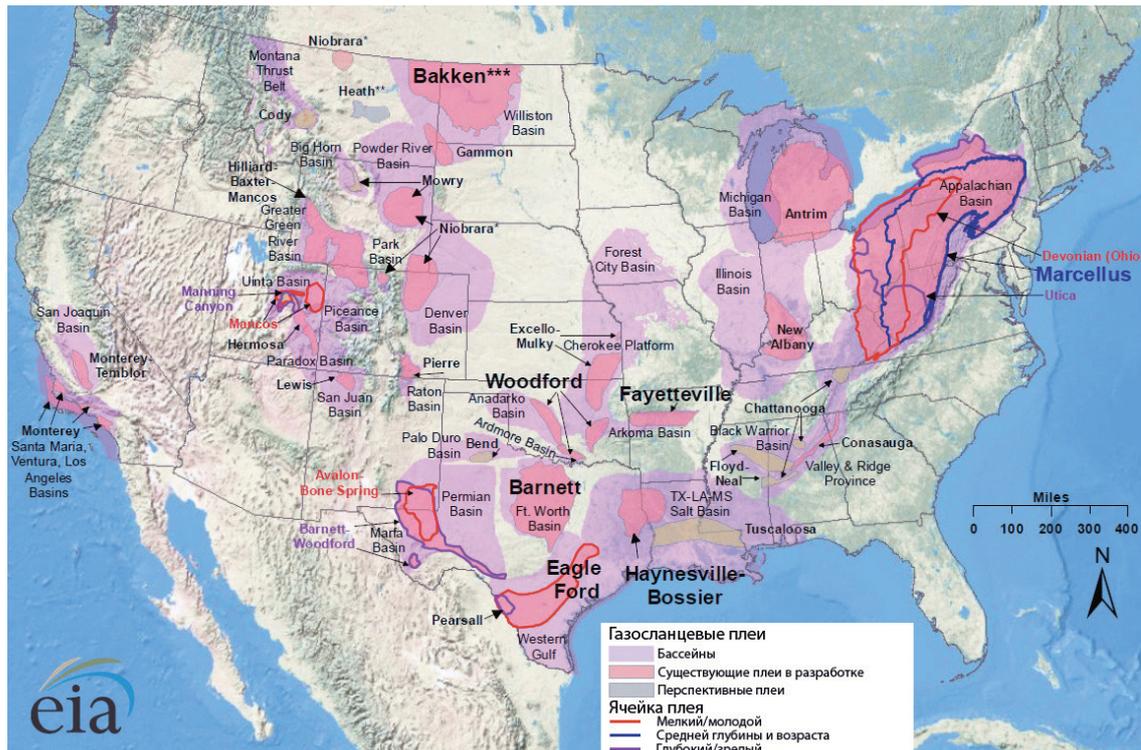


Рис. 1. Газсланцевые плечи США. Источник: Управление энергетической информации США (EIA), 2011, по [Мельникова, 2012]

го. Так, по расчетам Прайм Марк средняя себестоимость добываемого сланцевого газа компаниями США составляет около 170 долларов США за 1000 м<sup>3</sup>, в то время, как себестоимость добываемого ОАО «Газпром» газа составляет около 50 долларов США за 1000 м<sup>3</sup>.

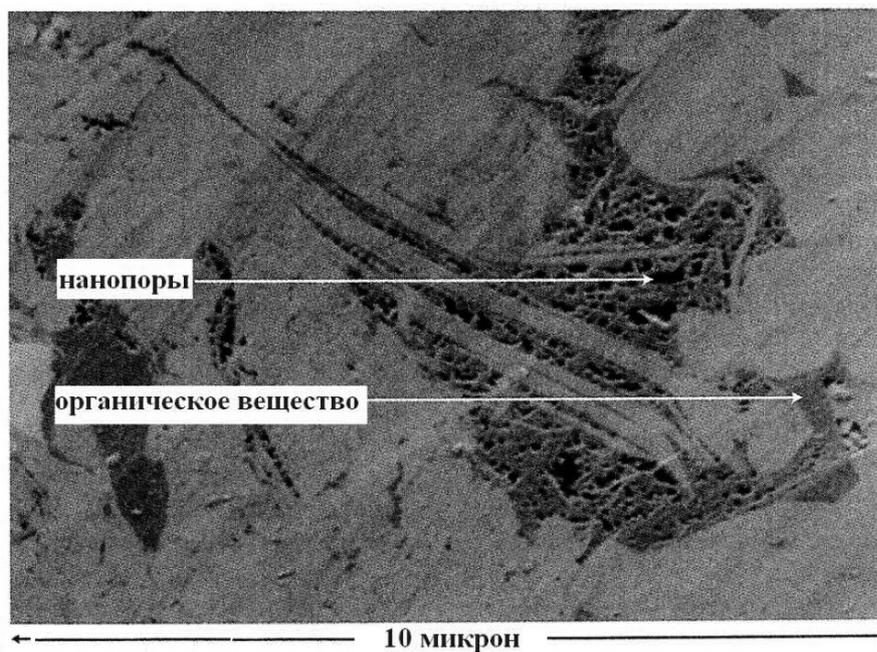


Рис. 2. Закупоренные в нанопорах углеводороды. Микрофотография шлифа газоносного сланца формации Barnett, США (по [Высоцкий, 2011])

## **Объединение технологий горизонтального бурения из вертикальных скважин и гидроразрыва пласта – суть «сланцевой революции»**

Для извлечения газа из сланцев необходимо искусственно «раскрыть» поры и обеспечить пути миграции углеводородов для их сбора в определенном месте. Это возможно путем дробления породы и создания в ней густой сети трещин. При этом, образующиеся трещины должны длительное время оставаться свободными для миграции газа. Все это позволяет осуществить технология ГРП. Теоретическая база такой технологии была разработана в 1953 г. академиком С.А. Христиановичем совместно с Ю.П. Желтовым в Институте нефти АН СССР. Она применялась (и до сих пор применяется) для увеличения нефтеотдачи пластов на истощенных месторождениях и для дегазации угольных пластов с целью предотвращения взрыва метана в шахтах. Суть ГРП – накачивание под давлением в скважину жидкости, которая нарушает целостность геологических слоев. Происходит раздробление плотных горных пород, массовое образование в них трещин, высвобождение УВ из пор и их отток в буровую скважину. Закачиваемый вместе с водой песок (пропант) заполняет трещины и не дает им сомкнуться.

В отличие от традиционных месторождений газоносные и нефтеносные сланцы в областях их развития распространены повсеместно на большой территории. Однако толщины таких слоев исчисляется всего лишь первыми метрами или первыми десятками метров. Поэтому стандартной вертикальной скважиной будет обрабатываться лишь незначительная часть пласта. Другое дело горизонтальная скважина, которая может быть пробурена вдоль пласта. Изменение направления скважины достигается с помощью специальных отклонителей, которые крепятся за забойным двигателем и управляются с поверхности. При бурении горизонтальной скважины, как правило, существует система навигации. Оператор на поверхности в каждый момент времени может сказать, как у него идет ствол скважины, куда он отклоняется. Эта технология достаточно хорошо отработана. Длина горизонтальной части ствола скважины обычно достигает 1200 м. (Максимальная длина горизонтальной части скважины была достигнута на Сахалине и составила 12 км. Речь шла о разработке традиционного месторождения на шельфе, при этом рассматривались два варианта: бурить с платформы в Охотском море или начать бурение на суше, а потом искривить скважину и уйти на 12 км в сторону моря. Последнее решение было признано оптимальным и успешно осуществлено).

Именно в объединении технологии бурения горизонтальных скважин из вертикального ствола с использованием поворотных управляемых систем и технологии ГРП заключается прорыв в освоении сланцевого газа и сланцевой нефти. Такое объединение впервые осуществил основатель компании Chesapeake Дж. Митчелл (США), которого по праву считают отцом сланцевой революции.

Горизонтальные скважины должны пролегать сугубо в толще сланцевого пласта на достаточном расстоянии от его границ, в противном случае газ и буровой раствор мигрирует через трещины и другие отверстия в верхний слой осадочных пород и может загрязнять подземные воды и выходить на поверхность. Для точного позиционирования скважины созданы методики построения трехмерных карт на основе микросейсмических данных. Уже сейчас осуществляется экспериментальное применение сейсмики 4D на фоне широкого применения 2D- и 3D-сейсмики и микросейсмики, а также технология geosteering с горизонтальным бурением в

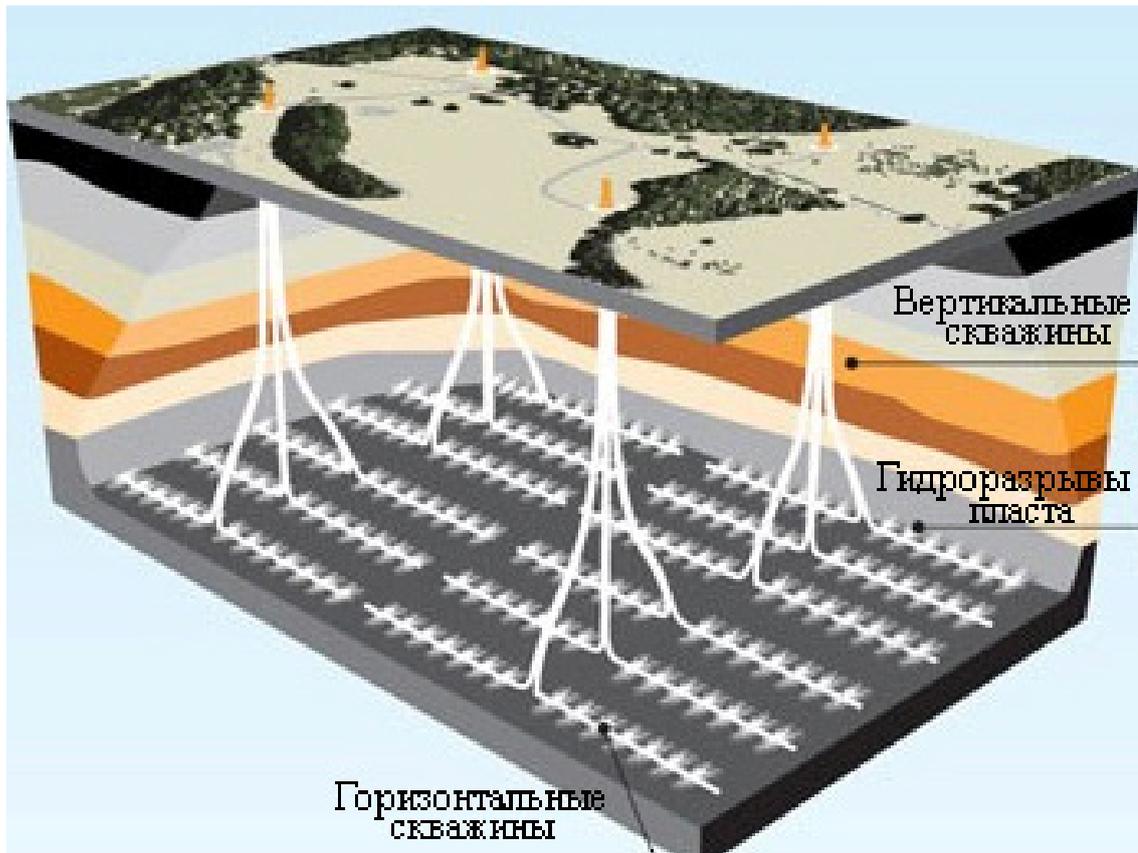


Рис. 3. Блок-схема отработки газоносного сланцевого пласта (multi-stage fracture stimulation).

режиме реального времени, когда оператор «видит» оптимальное направление бурения в маломощном слое сланца и место для гидроразрыва.

Гидроразрыв пласта проводится при давлениях от 500 до 1500 атмосфер, что приводит к образованию многочисленных трещин. Пропант (природный песок или искусственный материал) не дает сомкнуться трещинам и по нему газ поступает в горизонтальный и вертикальный ствол эксплуатационной скважины. Глубина отработки составляет обычно до 2500 м., но может быть и больше. Длина горизонтальной части обычно 1200 м. Всего на одной горизонтальной скважине можно осуществлять до 12 и более гидроразрывов. Закачиваемая в скважину жидкость для гидроразрыва представляет собой смесь воды, пропанта и различных химических веществ. На один цикл гидроразрыва требуется от 7 до 26 тыс. тонн воды, до 200 тонн песка и от 80 до 300 тонн различных химреагентов.

Развитие технологий привело к кустовому бурению с несколькими горизонтальными стволами из каждой вертикальной скважины (рис. 3), что существенно снизило нагрузку на поверхность при сохранении высоких объемов добычи. Таким образом, осуществляется сплошная отработка газоносного сланцевого пласта на огромных территориях.

### Экономические аспекты добычи сланцевого газа

Себестоимость добычи сланцевого газа по-прежнему остается одним из самых сомнительных вопросов. Она широко варьирует у различных компаний и зависит

от многих факторов (рис. 4). Капитальные затраты в первую очередь определяются затратами на сооружение скважин, средняя стоимость которых составляет от 2,5 до 9,2 млн. долларов. Также в высокой степени капитальные затраты зависят от объема газа, извлекаемого из скважины. Лучшие скважины в США имеют коэффициент извлечения от 150 до 300 млн. м<sup>3</sup>, но чаще этот показатель колеблется от 0,1 до 30,0 млн. м<sup>3</sup> [Мельникова, 2012].

Газоносные сланцы США залегают относительно неглубоко и достаточно равномерно распределены по территории страны. Это позволяет вести добычу газа в непосредственной близости к потребителю. Расстояния поставок газа в среднем не превышают 200 км, что сводит расходы на транспортировку газа к минимуму. В итоге это оказывается также одним из ключевых условий жизнеспособности сланцевой газодобычи в США.

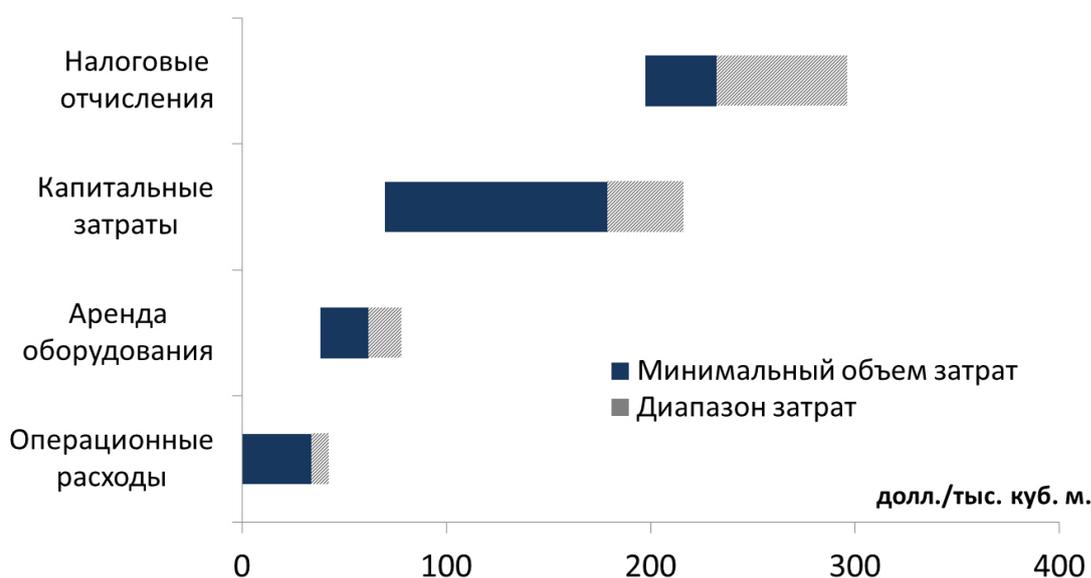


Рис. 4. Полный цикл затрат на добычу сланцевого газа в США на примере компании Southwestern (по [Мельникова, 2013])

Таким образом, для разработки эффективной технологии горизонтального бурения с гидроразрывом пласта США понадобилось более 20 лет экспериментов. За это время было разработано почти миллион скважин методом гидравлического разрыва пласта. Достигнутый при этом технологический прорыв в сфере добычи сланцевого газа способствовал тому, что США, импортировавшие газ до недавнего времени, теперь, обогнав Россию, являются крупнейшим производителем газа в мире.

Развитие газосланцевой добычи привело в 2012 г. к перепроизводству газа в США и падению цен. Некоторые газодобывающие компании оказались в очень тяжелом положении, но в выигрыше оказались потребители газа и вся экономика США в целом. Угольная генерация замещается газовой, за счет дешевого газа развивается химическая промышленность, сокращается импорт и увеличивается экспорт газа, заполнены подземные хранилища, строятся масштабные планы по развитию экспорта СПГ.

Следует признать, что, несмотря на весьма небольшой срок добычи, сланцевый газ уже изменил как внутренний рынок США, так и роль этой страны в мировой

энергетике. В связи с успехами США многие страны пересматривают свою энергетическую политику. Так, к промышленной добыче сланцевого газа на своей территории уже приступили Австралия и Аргентина, активно идут поисковые работы с получением первых продуктивных результатов в Китае, где предполагается начать промышленную добычу сланцевого газа уже в 2015 г. Европа, также активно включилась в поиски сланцевого газа на своей территории.

### Европа в поисках сланцевого газа

На рис. 5 приведена схема потребления газа странами Европейского союза. Импорт из России составляет более 25%. Отпускная цена колеблется от 250 до 400 долл./1000 м<sup>3</sup>. При таких обстоятельствах представляется естественным стремление европейских государств повторить успех США и стать энергетически независимыми за счет собственных ресурсов сланцевого газа. Тем более, что представители США всячески пытаются убедить европейские правительства в этом. Они утверждают, что запасов нетрадиционного газа в Европе не меньше чем в США, а значит, добыча будет экономически выгодна, а развитие сланцевозаговой отрасли позволит если не полностью избавить Европу от российской зависимости, то вынудить ее существенно снизить цену на природный газ. Интерес американских компаний понятен. Только они обладают соответствующими технологиями, оборудованием и наибольшим опытом разработки сланцевых месторождений. Поэтому именно им достанутся европейские контракты. Кроме того, играет роль и внешнеполитический фактор. Америку не устраивает, что ее партнер по НАТО, находится в энергетической зависимости от России, которая пытается проводить свою самостоятельную политику в глобальном масштабе. Так же важен экологический аспект, поскольку международные эксперты оценивают риски для окружающей среды как достаточно высокие, американские компании стремятся перенести добычу в развивающиеся страны.

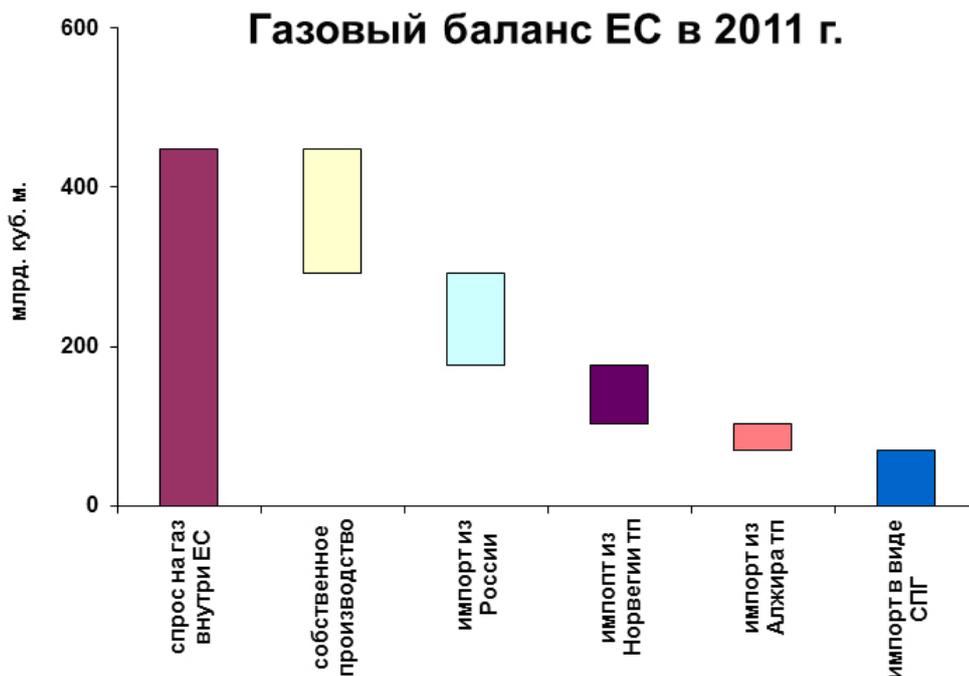


Рис. 5. Потребление газа странами ЕС на 2011 год

Действительно, первоначально предполагались значительные ресурсы нетрадиционного газа на территории европейских государств, которые связывают с крупнейшими бассейнами Польши, Франции, Северной Германии, южной части Северного моря, Украины. Энергетическое информационное агентство (EIA) в 2011 г. предполагало наличие на территории Европы 16,04 трлн. м<sup>3</sup> технически извлекаемых ресурсов сланцевого газа (табл. 1).

Следует иметь в виду, что при оценке ресурсов сланцевого газа из-за недостаточной изученности цифры разных источников отличаются между собой и к тому же меняются со временем.

Наибольшее внимание инвесторов привлекли польские силурийские сланцы, с которыми связывались основные надежды на развитие сланцевой газодобычи в Европе. С 2007 по 2011 гг. польским и иностранным компаниям было выдано 109 лицензий на поисково-разведочные работы на сланцевый газ. Так, в 2010 г. компания ConocoPhillips приступила к разведке сланцевого газа глубокого залегания, одновременно такие работы начали ExxonMobil и Marathon, Talisman Energy, Chevron. Всего на территории Польши пробурено более 40 скважин.

Первые экономические расчеты дали отрезвляющий результат – нижняя граница безубыточности здесь превышает 350 долл. за тыс. м<sup>3</sup>. Кроме того, согласно полученным данным геологоразведочных работ, извлекаемые ресурсы сланцевого газа в Польше оказались почти в 10 раз меньше ранее озвученных оценок в 5,3 трлн. м<sup>3</sup> и составили в среднем около 550 млрд. м<sup>3</sup> газа. В связи с незначительностью обнаруженных ресурсов газа с 2012 г. начался исход газовых компаний из Польши. Первой ушла ExxonMobil, следом 3Legs Resources. На примере Польши подтвердилось правило, когда на этапе «разгона» нового продукта имеет место переоценка в прогнозах для привлечения внимания государств и инвесторов.

Таблица 1

**Запасы технически-извлекаемого сланцевого газа  
по странам Европы (по [Мельникова, 2012])**

Регион/страна	Объем импорта/ (экспорта) природного газа (от потребления) <sup>1</sup>	Технически извлекаемые запасы сланцевого газа, млрд. куб. м
Франция	98%	3056
Германия	84%	226
Нидерланды	(62%)	481
Норвегия	(56%)	2348
Великобритания	33%	566
Дания	(91%)	651
Швеция	100%	1160
Польша	64%	5292
Турция	98%	425
Украина	54%	1188
Литва	100%	113
Другие страны Европы <sup>2</sup>	50%	537
Всего в Европе		16043
Всего в Мире		187402

<sup>1</sup>Данные на 8.03.2011 года, Международная энергетическая статистика; <sup>2</sup> данные из годового отчета EIA 2011 года

Из других, потенциально перспективных регионов добычи сланцевого газа в Европе считают Францию, Австрию, Германию, Нидерланды и Великобританию. Однако с 2011 г Франция ввела полный мораторий на применение метода ГРП на своей территории. Ее примеру последовала Болгария и Чехия. В других европейских странах геологоразведочные работы проходят на фоне сильного противодействия экологов и общественности, что вынуждает правительства этих стран вводить различные запретительные меры. Более того, Комитет по энергетике и Комиссия по окружающей среде Европарламента приняли 19 сентября 2012 г. резолюцию о необходимости введения «жестких режимов регулирования» ГРП и разработки нетрадиционных залежей нефти и газа.

Таким образом, за минувшие годы геологоразведочные работы на сланцевый газ в Европе практически не дали сколь-нибудь обнадеживающих результатов, а тема сланцевой газодобычи получила негативную оценку общественности и экологических организаций, что в итоге уже привело к принятию запретительных мер в некоторых европейских государствах.

### **Перспективы сланцевого газа в России**

Если учесть, что сланцевый газ есть везде – где-то больше, где-то меньше, то есть он и в России. Так как он сопутствует месторождениям нефти и природного газа, то, очевидно, Россия не уступает другим странам мира.

Разведанные запасы «традиционного» природного газа в России – около 60 триллионов м<sup>3</sup>. Его себестоимость не превышает 50 долл. за 1000 м<sup>3</sup>, а часто и того меньше, например на Ямбургском месторождении – до 24 долл. за 1000 м<sup>3</sup>. С такими запасами добыча сланцевого газа со средней себестоимостью 150-250 долларов за 1000 м<sup>3</sup> нецелесообразна. Поэтому в России им никто заниматься не собирается. Более интересен для России метан угольных пластов, которого более 80 трилл. м<sup>3</sup>. По заявлениям руководства ОАО «Газпром» располагает собственными технологиями добычи нетрадиционного газа и применяет их при добыче угольного метана на Кузбассе. Однако делается это больше для предотвращения взрывов метана с целью обеспечения безопасности отработки угольных пластов.

Глава «Газпрома» А. Миллер отмечает, что добыча сланцевого газа в России для ОАО «Газпром» совсем неактуальна, а направление сланцевой нефти представляет интерес и группа намерена им активно заниматься. Это сланцы баженовской свиты в Западной Сибири, развитые на площади более 1 млн. км<sup>2</sup>. Они залегают на глубинах около 2 км, характеризуются высокой нефтенасыщенностью, но сверхнизкой проницаемостью. Подобные месторождения сланцевой нефти активно эксплуатируются в Канаде, Китае и США.

### **Перспективы сланцевого газа в Украине**

Украина много лет пытается пересмотреть газовые соглашения с Россией, считая цену завышенной, а сами контракты – кабальными. В этих условиях страна ищет альтернативные источники поставок. Руководство Украины считает, что таким источником может стать сланцевый газ. В 2010 г. Shell и Exxon Mobil получили лицензии на гидроразрыв пластов в Донецкой, Харьковской и Львовской областях Украины. Несмотря на уже имеющиеся отрицательные результаты геологоразведочных работ в Польше, 24 января 2013 г. было подписано соглашение о разделе продукции между голландско-британской Shell и украинской компанией «Надра

Юзовская» и началось бурение геологоразведочных скважин на Юзовской площади в Донбассе. На сегодняшний день осуществлена попытка бурения двух скважин. Однако сложности геологического разреза и постоянные аварии не позволили добыть скважины до проектной глубины. Боевые действия 2014 года в прилегающих районах вынудили компании прекратить бурение.

Вместе с тем, украинские геологи считают [Кривошеев и др., 2012], что первоочередной задачей национальной нефтегазовой отрасли должно быть расширение геологоразведочных работ на традиционный газ, запасы которого в Украине 1,4 трлн. м<sup>3</sup>, и освоены они не более, чем на 25% (табл. 2). Из основных нефтегазоносных областей Украины (Карпатской и Днепрово-Донецкой) наибольшим потенциалом обладает Днепрово-Донецкая. Здесь сосредоточено 59% разведанных запасов нефти. Еще более высокие показатели характерны для газа (81,5% запасов). Перспективы этой и Карпатской нефтегазоносных областей Украины остаются достаточно высокими, но до конца не выясненными.

Ресурсы сланцевого газа в Украине разными авторами, которые не приводят серьезных расчетов, оцениваются в широких пределах – от 1,2 (ЕІА) до 60 трлн. м<sup>3</sup> (устные заявления чиновников). В последнем случае, часто не ясно, о каких именно ресурсах (геологических или технически извлекаемых) идет речь. Ведь теоретическая оценка геологических ресурсов сланцевого газа и реальный подсчет его извлекаемых запасов – две разных задачи. Отсюда разницей в оценках общей продуктивности территории Украины и ее отдельных регионов. Если воспользоваться наиболее авторитетной оценкой ЕІА 1,2 трлн. м<sup>3</sup> (см. табл. 1), то запасов традиционного газа (реально подсчитанного, а не гипотетического) все равно больше (1,4 трлн. м<sup>3</sup>).

В Карпатском регионе оценка геологических запасов сланцевого газа разными исследователями также отличается очень сильно. Наиболее вменяемые из них – от 2 до 3 трлн. м<sup>3</sup>. Как и в Польше, основные перспективы здесь связываются с силурийскими сланцами. К настоящему времени уже можно учитывать опыт Польши, где в течение последних 6 лет проведены интенсивные геологоразведочные работы по тем же силурийским сланцам. Этот опыт не обнадеживает – в Польше на сегодняшний день фактически не найдено пригодных для отработки объектов, а технически извлекаемые запасы сланцевого газа по результатам ГРП сокращены почти в 10 раз, по сравнению с оценками ЕІА 2011 г. Если этот опыт перенести на Олеськую площадь Украины, то геологические запасы сланцевого газа могут составить не более 300 трлн. м<sup>3</sup>.

В Днепрово-Донецкой области наиболее перспективными считаются нижнекаменноугольные отложения, включающие потенциально газоносные сланцы нефтегазогенерирующих толщ турнейского, визейского и серпуховского ярусов. По данным [Кривошеев и др., 2012], эти толщи представлены аргиллитами с повышенными содержаниями органического углерода с суммарной мощностью до 300 м. При площади их распространенная 65000 км<sup>2</sup>, общий объем нефтегазогенерирующих толщ составляет 19500 км<sup>3</sup>. При коэффициенте аккумуляции 4%, геологические ресурсы турнейско-визейско-серпуховского комплекса отложений могли превысить 78 млрд. т. условного топлива.

В.Т. Кривошеев с соавторами [Кривошеев и др., 2012] считает, что часть этих огромных ресурсов пошла на формирование традиционных залежей нефти и газа и на дегазацию недр, как это часто происходит при метаморфизме [Парада, 2002], а другая часть могла остаться неравномерно законсервированной в низкопористых, низкопроницаемых породах, в том числе и глинистых. Подсчитанные этими гео-

Таблица 2

**Разведанные запасы газа традиционных месторождений Украины  
(по [Кривошеев и др., 2012])**

Регион	Количество месторождений		Запасы, млрд. м <sup>3</sup>
	Открыто	Разрабатывается	
Полтавская	62	32	634,4
Харьковская	41	21	402,5
Львовская	30	20	101,2
Сумская	18	15	82,6
Ивано-Франковская	20	16	31,6
Днепропетровская	13	10	21,6
Черниговская	9	5	13,0
Луганская	11	7	11,8
Волынская	1	–	7,7
Запорожская	2		6,7
Закарпатская	4	1	3,3
Херсонская	1	1	2,3
Черновицкая	5	1	1,6
Донецкая	1	–	1,2
Украина	218	129	1321,5

логами ресурсы сланцевого газа составили 8,48 трлн. м<sup>3</sup>. На прирезанной карте открытого Донбасса, включающего Юзовскую перспективную на сланцевый газ площадь (рис. 6), проекция на земную поверхность этих потенциально продуктивных на сланцевый газ толщ до глубин 3 км показана нами зеленой штриховкой.

По мнению [Кривошеев и др., 2012] для реальной оценки ресурсов газа в них необходимо серьезно учитывать опыт, полученный на американских месторождениях формации Барнет, где продуктивные сланцы содержат большое количество кварцевого алевритового материала 29-38%, глинистая часть составляет 20-30%, но не более 50%, содержание органического вещества 1-5%. Для того, чтобы сланец мог вмещать достаточное количество газа пористость его не должна быть ниже 3%, а количество органического вещества должна превышать 1%. Однако, потенциально продуктивные породы Днепровско-Донецкого региона в этом отношении практически не изучены, и оценка ресурсов сланцевого газа в Украине еще далека от действительности. Именно так следует относиться и к ресурсам собственно Юзовского месторождения, отданного украинскими властями британско-голландской компании Shell, которые по американским источникам составляют 1,2 трлн. м<sup>3</sup>, а по украинским источникам – 4 трлн. м<sup>3</sup>.

**Некоторые аспекты геологического строения Юзовской  
площади в связи с предполагаемой добычей сланцевого  
газа методом ГРП**

Если на Олеськой площади Карпатской нефтегазовой области, на основе Польского опыта хоть какая-то добыча возможна, то относительно Юзовской площади возникают сомнения относительно самого наличия там сланцевого газа. И связано это с принципиально иной геологической историей региона.

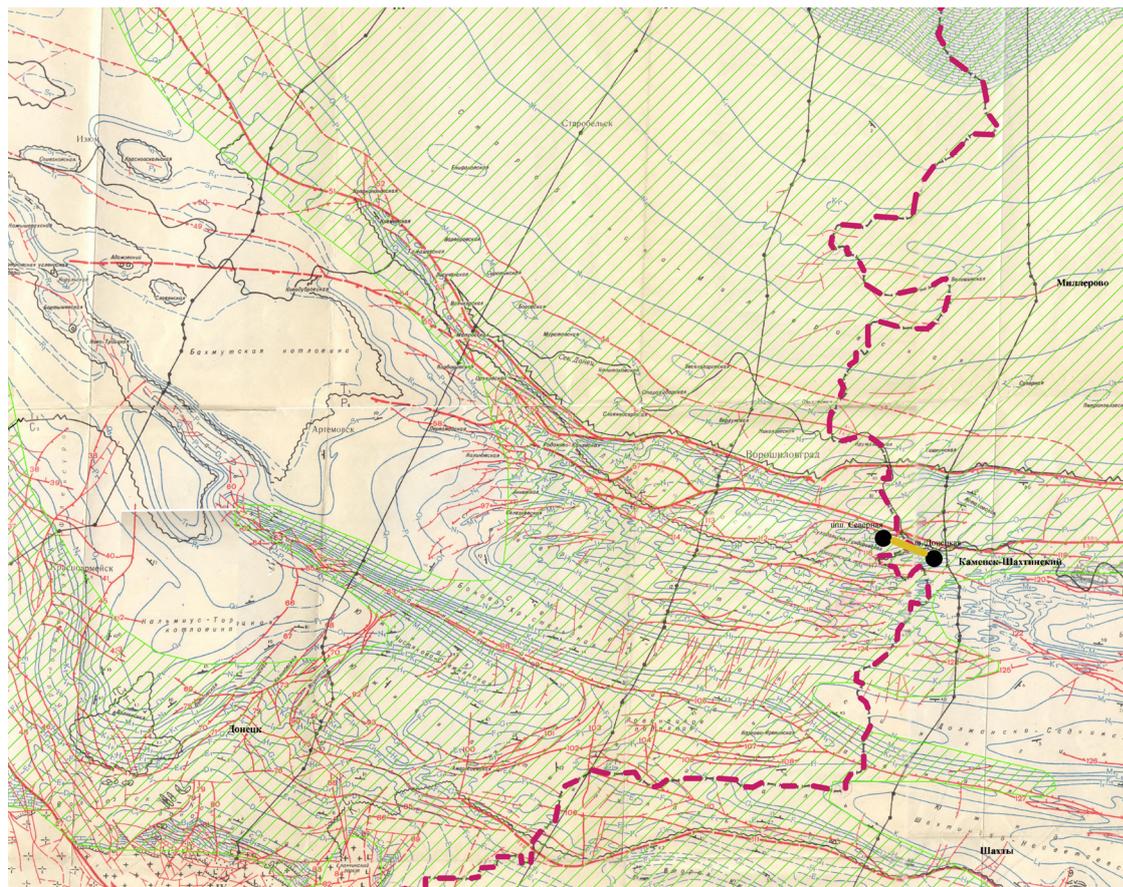


Рис. 6. Фрагмент структурной карты открытого Донбасса с отображением проекции на поверхность потенциально продуктивных на сланцевый газ комплексов до глубины 3 км (зеленая штриховка). Желтой линией показано место перетока шахтных вод с Украинской шахты Северная в Российскую шахту Донецкая и обратно.

На приведенном выше рис. 6 красными линиями показаны разломы земной коры (нарушение сплошности пластов горных пород). Они имеют различную природу, различную глубину и различную длину. Большинство из них являются наилучшими путями миграции подземных флюидов (воды, нефти, газов). На данной карте отображены наиболее крупные из них. При увеличении масштаба картирования густота разломов будет увеличиваться. Это потому, что вся территория Юзовского месторождения относится к так называемому открытому Донбассу с очень сложной историей геологического развития. Главным для целей оценки самой возможности и экологических последствий сланцевой газодобычи методом гидроразрыва пласта в Донбассе является то, что в отличие от американских газосланцевых территорий, приуроченных к чехлу древней платформы (наиболее стабильному участку земной коры), Юзовская площадь приурочена к юго-восточному окончанию Припятско-Донецкой впадины, которая представляет собой составной элемент долгоживущей внутриплатформенной рифтовой системы (наиболее активному типу участков земной коры), представленному в настоящее время открытым Донбассом. Именно неоднократные возобновления тектонических движений и магматической деятельности в пределах этой территории и привели к огромному количеству разрывных нарушений слоев, а также к повышенному образованию густых сетей кливажных и приразломных трещин в самих горных породах [Погребнов и др., 1985; Соло-

вьев, 2007; Трощенко, 2011], в том числе и в предполагаемо газоносных плотных песчаниках и непроницаемых аргиллитах. Все это позволяет сделать два важных предположения: 1 – то, что должен сделать гидроразрыв, сделано уже неоднократно тектоническими движениями, а значит потенциально газоносные пласты возможно уже дегазированы; 2 – если газ сохранился, то при его добыче методом ГРП, он и буровой раствор с опасными химическими веществами будут уходить за пределы пласта по активизированным при ГРП трещинам и разломам в неконтролируемых направлениях. Если верно первое предположение, то планируемые на Юзовской площади работы по добыче сланцевого газа бессмысленны, если второе – то чрезвычайно опасны.

Кроме того, в результате ликвидации и затопления выработанного пространства подземных горных выработок шахт Восточного Донбасса выявились некоторые ранее неизвестные особенности крупных разломов. Оказалось, что продольные надвиги в Донбассе, в отличие от существующих представлений, являются хорошими проводниками подземных вод. Это, опять-таки, связано с неоднократными периодами тектонической активизации региона, когда изначально непроницаемые сколовые разломы, возникшие в обстановке сжатия, подновляясь в новом поле растягивающих напряжений, меняли свою природу и становились проницаемыми для подземных флюидов.

Установлено, например [Мохов, 2011], что растекание загрязнённых вод из затопленной шахты Калитва по Белокалитвенскому надвигу привело к загрязнению водозабора на станции Грачи, расположенного на расстоянии более 8 км к востоку и гипсометрически выше уровня воды в затопленных выработках шахты на 50-70 м.

Другой установленный факт касается уже территории двух соседних государств. Из затопленных подземных выработок шахты Северная (г. Краснодон, Украина) в подземные горные выработки закрытой шахты Донецкая (Россия) через барьерный угольный целик по Самсоновскому надвигу перетекало до середины 2012 г около 180 м<sup>3</sup>/ч воды, которая затем стекала в горные выработки соседней шахты Западная в России (см. рис. 6). После затопления шахт Западная и Донецкая (вследствие отключения водоотлива из подземных горных выработок шахты Западная в связи с ее ликвидацией) начался переток воды из них в обратном направлении – в горные выработки шахты Северная. Максимальный объем перетока по расчетам составил около 350 м<sup>3</sup>/ч.

Таким образом, особенности геологического строения Юзовской площади, ставят под сомнение саму возможность сохранения в аргиллитовых и песчаниковых слоях углеводородов в условиях неоднократной тектонической переработки и неоднократного в геологической истории массового трещинообразования. С другой стороны, повышенная трещиноватость этих пород и огромное количество флюидопроводящих разломов, даже при наличии запасов сланцевого газа, делает весьма опасным для людей и окружающей среды его добычу методом ГРП.

### **Опасности добычи сланцевого газа методом ГРП**

Как уже отмечалось, основной опыт добычи сланцевого газа связан с США. Канада, Австралия и Аргентина находятся в начале пути, Китай и Европа пока еще проводят геологоразведочные работы. Поэтому некоторые негативные последствия газсланцевой добычи для человека и окружающей среды, как это сделано и при характеристике позитивного опыта, рассмотрим на примере США.

Добыча сланцевого газа в США столкнулась с серьезными экологическими ограничениями прежде всего ввиду большого охвата площадей и значительного и интенсивного нарушения целостности недр.

Еще вчера главной экологической проблемой сланцевого газа являлся риск загрязнения растворами для ГРП водоносных пластов. Оказалось, что при добыче сланцевого газа возможен выход трещин гидроразрыва за пределы кровли сланцевого пласта, объединение их с активизированными в результате гидроудара разломами земной коры и неконтролируемой миграцией газа и бурового раствора в подземные и поверхностные воды. Это может произойти на горизонтальном участке скважины в случае неправильного угла бурения, излишней силы гидроудара, но, в основном при недоучете степени тектонической нарушенности и других особенностей геологического строения обрабатываемого участка, так как именно горизонтальный участок скважины, в отличие от вертикального, остается не защищенным специальными стальными обсадными трубами, предотвращающими попадание газа и бурового раствора в заскважинное пространство.

Именно жидкость для гидроудара представляет угрозу подземным и поверхностным водам, так как в ее состав входят различные химические вещества в том числе и очень ядовитые для человека и окружающей среды (бензол, толуол, свинец, этиленгликоль, метанол, борная кислота и т. п.).

Другая угроза заключается в выдавливании жидкостью для ГРП (буровым раствором) сланцевого газа на поверхность, где он может заполнить какие-нибудь низины, либо попасть в источники водоснабжения. И хотя сам по себе природный газ не ядовит, но он тяжелее воздуха, и может вытеснить его собой в замкнутых пространствах, что может привести к удушью. К тому же, метан взрывоопасен.

Кроме того, метан является парниковым газом, и неконтролируемые утечки его в атмосферу могут способствовать глобальному потеплению. Так, 1 сентября 2011 года в Брюсселе опубликован отчет Агентства по охране окружающей среды США. В нем приведены неоспоримые факты, что выбросы парниковых газов при добыче сланцевого газа больше, чем у угля, нефти и обычного газа, общий объем потерь метана при добыче газа составляет 3,6-7,9%. Объемы парниковых газов, выбрасываемые в США, в связи с добычей газа из сланцев, увеличились в 3 раза за последние 5 лет.

Технология ГРП требует крупных запасов воды вблизи месторождений. Две трети использованной воды теряется в недрах, а возвращенная на поверхность использованная вода в составе растворов для ГРП не может быть очищена современными способами от ядовитых химических веществ до первоначального состояния. Более того, многие компании из-за отсутствия достаточного места, избавляются и от нее, интенсифицируя процесс испарения путем распыления.

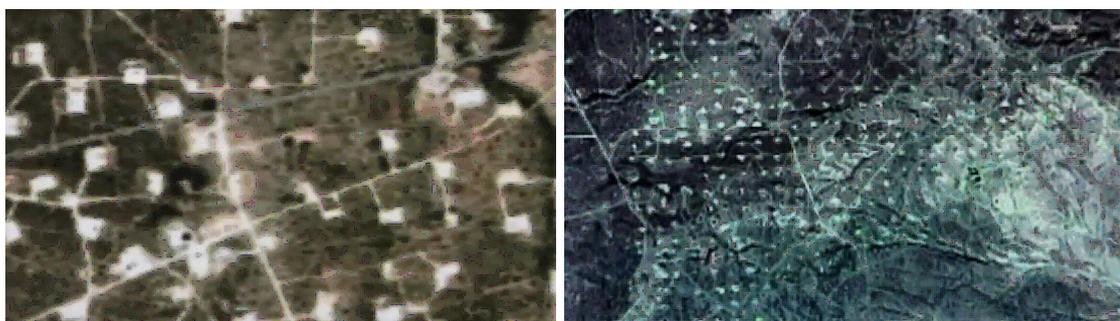
Еще одна специфическая опасность связана с древним (в основном палеозойским и мезозойским) возрастом газоносных сланцев, отличающихся повышенной радиоактивностью. В результате гидроразрыва высокий уровень гамма-излучения может попадать в верхние слои осадочных пород и приводить к повышению радиационного фона.

И наконец, технология сплошной обработки пласта на большой площади требует бурение равномерной сети скважин, что даже при кустовом методе предполагает густую сеть буровых вышек и всей прилегающей к ним инфраструктуры, в среднем 3 на 1 км<sup>2</sup>, так что получается довольно густой «лес» буровых вышек.

При этом сама буровая площадка с обслуживающими комплексами занимает достаточно много места и хорошо видна из космоса (рис. 7). Представление о густоте буровых площадок и подъездных путей к ним можно получить по космическим снимкам разного приближения (рис. 8).



*Рис. 7. Космоснимок буровой площадки по добыче сланцевого газа в США*



*Рис. 8. Космоснимки территорий отработки сланцевого газа в США при разных приближениях*

Так что, крупная добыча сланцевого газа в США оказалась возможной только в слабозаселенных районах. Полупустынные площади, глубокая периферия штатов, окрестности небольших удаленных городков, – вот те места, где более-менее успешно работают газодобывающие компании. И даже там они сталкиваются с противодействием местных жителей.

В 2006 г. кинорежиссер Джош Фокс получил электронное письмо, в котором ему предлагалось 100000 долларов за разрешение добывать сланцевый газ на его земле. Он знал, что согласно закону, принятому конгрессом в 2005 году, экологический контроль из компаний по добыче природного газа был снят. Джош объездил всю страну в поисках правды о влиянии ГРП на экологическое состояние природы и на здоровье человека. В снятом им фильме «GazLand» показана бездеятельность чиновников, бюрократизм, взяточничество и ухудшающееся состояние природной среды: водоемы, зараженные токсичными отходами, повышенный радиационный фон, гибнет скот и дикие животные, легко воспламеняющаяся водопроводная вода (рис. 9), опасность заболевания раком, болезни легких.

Местные официальные службы штатов фиксируют до 6000 инцидентов в год, связанных с газосланцевой добычей. Ниже приводятся некоторые из них (по одному в каждом году).

2005 г. Округ Сан-Хуан, Нью-Мексико. Протечка жидкости, используемой при ГРП, вызвала массовый падеж скота, о чем было засвидетельствовано тexasской ветеринарной лабораторией.

2007 г. В ходе осуществления ГРП компанией Williams Production Gulf Coast в Техасе, также произошло попадание толуола в воду, что вызвало падеж скота.

2008 г. В Вайоминге, недалеко от сланцевой разработки, в каждом третьем источнике питьевой воды появился бензол, концентрация которого превысила гранично допустимую в 1,5 тыс. раз.



Рис. 9. Горит метан из водопроводного крана. Кадры из фильма Д. Фокса «GazLand»

В 2009 г. В Луизиане на разработке участка компанией Chesapeake Energy произошел неконтролируемый выброс метана, персонал не мог перекрыть утечку газа в течение суток, население в радиусе 3 километров было эвакуировано.

2010 г. В Вайоминге, в городке Павиллион был объявлен запрет на пользование водой, поскольку из 19 источников воды, расположенных в районе скважины для добычи сланцевого газа, 17 оказались загрязненной бензолом, фенолом и нафталином.

2011 г. Утечка раствора для ГРП полностью уничтожила растительность на площади 6 гектаров в Северной Дакоте.

2012 г. В Оклахоме при бурении скважины для добычи сланцевого газа что-то пошло не так и округ потряс мощный взрыв, вызвавший масштабный пожар.

2013 г. произошедшие в этом году землетрясения в городах Эзл и Форт-Уэрт в Техасе, Джонс в Оклахоме, Янгстаун в Огайо, Гай в Арканзасе а также на северо-востоке Огайо связывают с закачкой жидкости гидроразрыва в скважины.

2014 г. взрыв газа и пожар на скважине в штате Пенсильвания в 80 км к югу от Питсбурга.

Таким образом, перспективы крупной добычи сланцевого газа с помощью ГРП в настоящее время имеются только в слабозаселенных районах и в странах, которые согласны на снижение экологической безопасности.

Проблемы дефицита воды и многие экологические риски, которые сопровождают технологию гидроразрыва могут быть сняты при замене технологии гидроразрыва технологией аэроаэрозольного пласта. Уже сейчас в качестве пилотного проекта компания GasFrac Energy применяет экспериментальную технологию «пропанового разрыва», используя вместо воды сжиженный нефтяной газ или просто пропан или бутан. Эти газы, вместе с газом из сланцев затем полностью извлекаются из пласта, не воздействуя на окружающую среду.

Однако в последние годы на первый план выходят геодинамические риски. Снижение давления в неглубоко залегающих пластах постепенно приводит к перераспределению в них напряжений, подвижкам и даже техногенным землетрясениям. К тому же неизвестно, как скажется в будущем появление в недрах на больших площадях слабонаклоненного слоя ослабленных гидроразрывами пород по типу астеносферного слоя верхней мантии Земли.

По данным Геологической службы США (USGS), за последние четыре года было зафиксировано около 450 землетрясений силой до 3 баллов по шкале Рихтера [<http://earth-chronicles.ru>, 2014]. При этом в период наблюдений 1970-2000 гг. среднее количество подобных землетрясений было значительно меньше и составляло около 20. Значительное землетрясение силой 5,7 балла, вызванное, как показали исследования [Katie et al., 2013], разработкой сланцевых месторождений в США произошло в 2011 г. в штате Оклахома. Это стало самым сильным техногенным землетрясением.

Резкое увеличение числа сланцевых землетрясений уже стало поводом для создания специальной комиссии, представляющей несколько штатов США, в которых ведется активная разработка сланцевых месторождений [<http://earth-chronicles.ru>, 2014].

Тема техногенных землетрясений в связи с газосланцевой добычей была затронута весной 2014 г. на ежегодной конференции Сейсмологического общества США, которая прошла в г. Анкоридж, штат Аляска [<http://www.nofrackingway.us>, 2014]. Основной причиной таких землетрясений ученые считают закачивание отработанной воды в скважины для ее хранения, что приводит к повышению давления на уже существующих линиях разломов. Землетрясения могут возникать и при отсутствии в непосредственной близости сейсмоопасных геологических формаций. Так геофизики Корнельского университета, проанализировавшие различные модели пластового давления, показали: само давление отработанной воды при огромном количестве скважин может распространяться на десятки километров.

По итогам конференции в Анкоридже в журнале National Geographic была опубликована статья «Scientists Warn of Quake Risk From Fracking Operations», в которой отмечается, что, хотя сланцевые землетрясения пока еще остаются малоизученным феноменом, у экспертов есть основания полагать, что их магнитуда в дальнейшем может увеличиться.

И последнее. В январе 2013 г. Financial Times опубликовал материал, в соответствии с которым США в 2012 году не только стали одним из лидеров по производству газа, благодаря сланцам, но и одним из лидеров по его бесполезному сжиганию. По этому показателю США находятся на пятом месте после Нигерии, России, Ирана и Ирака. В статье это связывается с резким ростом производства сланцевого газа в 2010-х, что и привело к перепроизводству и падению цен. Теперь, даже просто хранить и тем более транспортировать попутный газ для нефтяных компаний нерентабельно, а девать его некуда. Приходится сжигать. То же самое происходит на сланцевых месторождениях в Техасе и Северной Дакоте (рис. 10), где бесполезное сжигание газа достигло таких масштабов, что было впервые зарегистрировано NASA из космоса с помощью спутника (рис. 10). За 2012 год количество газа, сжигаемого на сланцевых участках, увеличилось на 50%. Что касается Техаса, то за 2011 и 2012 годы там было выдано почти 2000 разрешений на сжигание газа. По подсчетам, приведенным в статье, в США впустую сгорает столько газа, что хватило бы для освещения и обогрева Чикаго и Вашингтона вместе взятых.

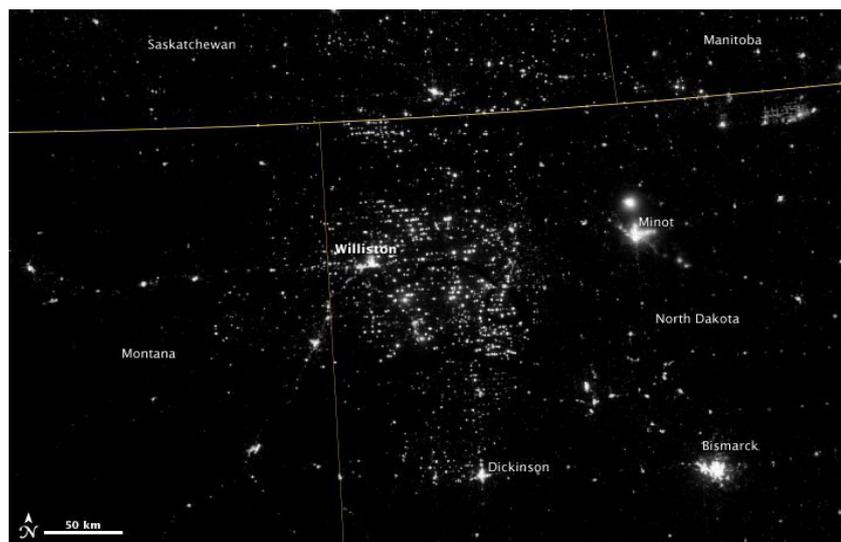


Рис. 10. Ночной космоснимок штата Северная Дакота – одного из самых малонаселенных штатов США – с яркими пятнами от горящих газовых факелов (NASA, 2012)

Таким образом, можно констатировать, что массовая добыча сланцевых газа и нефти методом гидроразрыва пласта таит в себе риски и угрозы глобального характера.

### Литература

1. Высоцкий В.И. Ресурсы сланцевого газа и прогноз их освоения // ИнфоТЭК-2011, № 1.
2. Кривошеев В. Т., Кукуруза В. Д., Иванова Е. З., Макогон В. В. Сланцевый газ – проблемы и перспективы добычи на Украине / XI-th International Conference on Geoinformatics Theoretical and Applied Aspects, 14-17 May 2012, Kiev, Ukraine
3. Мельникова С.И. Первые 5 лет «сланцевой революции»: что мы теперь знаем наверняка? Информационно-аналитический обзор. Центр изучения мировых энергетических рынков ИНЭИ РАН, Москва, 2012.
4. Мельникова С.И. Экономика и экология добычи сланцевого газа. Доклад 17 мая 2013 г. Львов, Украина. Центр изучения мировых энергетических рынков ИНЭИ РАН, Москва, 2013.
5. Мохов А. В. О растекании шахтных вод из затопленных угольных шахт в недрах / Доклады Академии наук, 2011. Т. 438, №4. С. 494-496.
6. Парада С.Г. О литогенной природе некоторых золоторудных месторождений в углеродисто-терригенных толщах // Литология и полез. ископаемые, 2002. № 3. С.275-288.
7. Погребнов Н.И., Очеретенко И. А., Трощенко В.В. Структурная геология Донецкого бассейна. М.: Недра, 1985. 149 с.
8. Соловьев В.О. Геология и нефтегазоносность Украины: Учебное и справочное пособие. Харьков: Курсор, 2007. 294 с.
9. Трощенко В.В. Малоамплитудная тектоника угольных пластов Восточного Донбасса. Характеристика и прогнозирование. Saarbrücken: LAP-Lambert Academic Publishing, 2011. 168 с.
10. Якуцени В.П., Петрова Ю.Э., Суханов А. А. Нетрадиционные ресурсы углеводородов – резерв для восполнения сырьевой базы нефти и газа России // Нефтегазовая геология. Теория и практика, 2009. №4. С. 1-20.

11. Katie M., Keranen I., Heather M., Savage Z., Geoffrey A., Abers Z., Elizabeth S. Potentially induced earthquakes in Oklahoma, USA: Links between wastewater injection and the 2011 Mw 5.7 earthquake sequence // *Geology*. T. 41. №6. 2013. P. 699-702.

12. <http://earth-chronicles.ru/news/2014-05-07-64857>

13. <http://www.nofrackingway.us/2014/05/02/the-science-of-frack-quakers/>

DOI: 10.23671/VNC.2015.1.55236

## **SHALE GAS PRODUCTION BY THE METHOD OF HYDRAULIC FRACTURE: THE CURRENT CONDITION, RISKS AND HAZARDS**

© 2015 G.G. Matishov<sup>1</sup>, academician, S.G. Parada<sup>2</sup>, Sc.Doctor (Geol.-Min.)

<sup>1</sup>FSBIS Southern scientific center of RAS, 344006, Rostov-on-Don, Chekhov avenue, 41, e-mail: [matishov\\_ssc-ras@ssc-ras.ru](mailto:matishov_ssc-ras@ssc-ras.ru); <sup>2</sup>FSBIS The Institute of arid zones of SSC RAS, 344006, Rostov-on-Don, Chekhov avenue, 41, e-mail: [segripa@rambler.ru](mailto:segripa@rambler.ru)

The current condition of shale gas production on basis of multiple hydraulic fractures in USA is characterized in the present article. It is shown that the breakthrough in development of shale gas and shale oil consists exactly in combination of technologies of lateral drilling from vertical well bore with the usage of revolving controlled system and technologies of multiple hydraulic fracture. Usage of such complex technologies increases the production cost and so shale gas will be more expensive than traditional gas. It is noticed that technological breakthrough in the sphere of shale gas production encourages the situation when USA importing gas up until recently, today is the biggest gas producer in the world leaved Russia behind. On the basis of analysis of geological exploration experience in the countries of European Union it is shown the absence of significant prospects of shale gas production in these countries and also in Ukraine. Negative influence of multiple hydraulic fractures on environment is considered. Herewith chemical pollution and geodynamic influence are separated. It is offered the hypothesis that expansion of shale gas and oil production scales has ecological risks and hazards in global scale.

**Key words:** shale gas, hydraulic fracture, horizontal drilling, chemical pollution, geodynamic influence, anthropogenic earthquakes.