

В.П. Малюков, Н.П. Олмасханов

ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ ПРИ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СЛАНЦЕВЫХ УГЛЕВОДОРОДОВ

Проанализировано воздействие на окружающую среду при разработке месторождения сланцевой нефти и газа в США и РФ. Бурение горизонтальных скважин с многостадийным гидроразрывом пласта позволило начать разработку сланцевых углеводородов. В статье рассматриваются технологии разработки крупнейшего в США месторождения сланцевой нефти Баккен, сланцевого газа Marcellus и Utica, а также баженовской свиты (РФ) – крупнейшего в мире по запасам нефти.

Ключевые слова: разработка месторождений, сланцевая нефть, сланцевый газ, баженовская свита, гидроразрыв пласта, компоненты для гидроразрыва, горизонтальная скважина, допустимая нагрузка на окружающую среду.

Началом современной промышленной разработки сланцевых углеводородов (сначала газа, а затем и нефти) принято считать 2002 г., когда в США началось бурение горизонтальных скважин с многостадийным гидроразрывом и закачкой пропантов [4, 5].

Крупнейшее в США месторождение сланцевой нефти Баккен с ресурсами в 580 млн т нефти, 52 млрд м³ и 23,5 млн т конденсата. Максимальный дебит нефти из сланцев Баккен после гидроразрыва в скважине Соренсон (Sorenson) 29-32-1Н составил 815 т/сут.

В настоящее время в России в наибольших масштабах сланцевая нефть добывается компанией «Салым Петролеум Девелопмент» (совместное предприятие концерна «Шелл» и российской нефтяной компании «Эвихон») из баженовской сланцевой формации Западной Сибири. Дебиты скважин в пределах Салымского сланцевого поля колеблются в очень широких пределах – 0,1÷1 т/сут (15%), 1÷5 т/сут (28%), 5÷10 т/сут (22%), 10÷100 т/сут (21%), более 100 т/сут (14%). Средний дебит скважин – около 30 т/сут [6].

Прогнозные ресурсы сланцевой нефти баженовской свиты в Западной Сибири составляют около 9,7 млрд т. По данным Энергетического информационного агентства США (июнь 2013 г.), извлекаемые ресурсы сланцевой нефти баженовской свиты Западной Сибири оцениваются в 75 млрд барр. (более 10 млрд т). Для сравнения: извлекаемые ресурсы крупнейшего месторождения сланцевой нефти формации Баккен в США оцениваются в 3,8 млрд т.

Добыча углеводородов из сланцевых месторождений имеет специфические особенности. В силу высокой плотности и прочности сланцев для высвобождения нефти и газа из порового пространства практически единственным приемом является разрушение пласта с помощью гидравлического разрыва. При этом низкая проницаемость и насыщенность пласта вынуждает разрушать пласт многократно.

Баженовская свита распространена в Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции (НГП) на территории более 1 млн км². Сходство отложений баженовской свиты, например, с нефтяными сланцами Баккен в том, что и те, и другие обладают свойствами нефтематеринских пород, в них содержится большое количество керогена и коллекторами в обоих являются плотные породы [2].

Главное отличие в мощности продуктивных отложений и их распространении по разрезу. В формации Bakken породы-коллек-

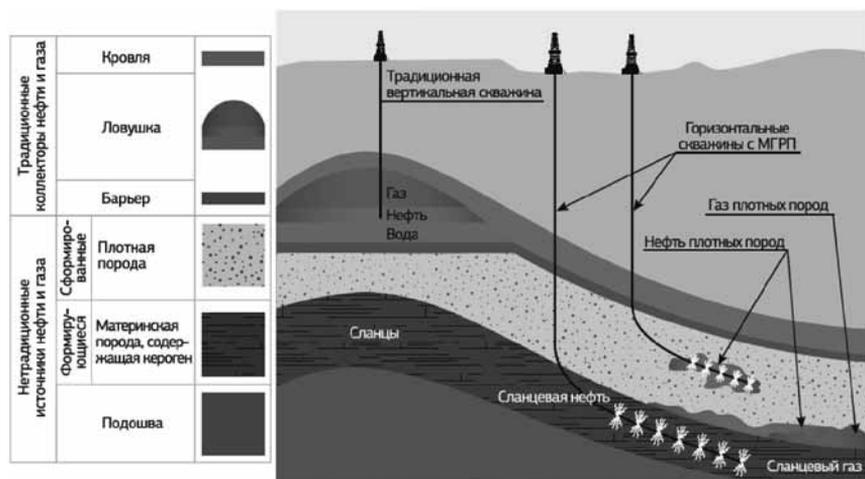


Рис. 1. Классификация углеводородов по способу залегания

торы имеют мощность более 40 м и располагаются между мало-мощными породами, насыщенными органическим веществом. В бажене (в традиционном разрезе) слои коллекторов мощностью 0,5–3,0 м находятся на нескольких стратиграфических уровнях, разделенных пачками маломощных пород, насыщенных органическим веществом, мощностью в среднем 2,5–10,0 м. Таким образом, коллекторы в баженовской свите приурочены к маломощным слоям, разбросанным по разрезу (рис. 1).

Сланцевая нефть добывается из такой же мелкопористой породы, из которой добывается сланцевый газ. Поэтому технологии их добычи в принципе похожи. Однако при добыче нефти горизонтальную скважину располагают глубже – на уровне, где залегают более тяжелый конденсат и нефть. Чтобы нефть более свободно подходила к горизонтальной скважине, предварительно осуществляют разрыхление сланцевой породы с помощью гидроразрыва пласта (ГРП) [1].

ГРП – это технологический процесс увеличения проницаемости призабойной зоны продуктивного пласта за счет расширения имеющихся или образования новых трещин. Для этого в призабойную зону закачивается жидкость под высоким давлением, которое в 1,5–2 раза превышает пластовое давление. В образовавшиеся при этом трещины вместе с жидкостью подается наполнитель (например, отсортированный кварцевый песок), чтобы трещины не сомкнулись после сброса давления [5].

В результате ГРП извлечение нефти из малопроницаемых блоков может увеличиться в 2–3 раза.

Основными компонентами жидкости для гидроразрыва являются вода и пропант (песок), на долю которых приходится не менее 98% общего объема. Кроме того, в жидкость добавляют различные химические вещества, которые должны снизить вязкость раствора, уменьшить его корродирующую способность, предотвратить осаждение на стенках труб минеральных солей и т.д. Смысл присутствия некоторых добавок состоит например, в следующем:

- 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;
- глютаральдегид и формамид противостоят коррозии;
- легкие фракции нефти используются для снижения трения;

- пероксидисульфат аммония противостоит распаду гуаровой камеди;
- хлорид калия препятствует химическим реакциям между жидкостью и грунтом;
- карбонат натрия или калия нужны для поддержки баланса кислот [1].

Технология гидроразрыва сланцевого пласта предусматривает наличие крупных запасов воды вблизи месторождений: для одного гидроразрыва используется смесь воды, песка и химикатов. Для одной операции гидроразрыва требуется около 7,5 тыс. т воды, от 80 до 300 т химикатов. В результате накапливается значительный объем отработанных сточных вод – вод обратного притока. Эта проблема является наиболее острой при добыче сланцевых углеводородов в густонаселенных районах. Чтобы получить баррель сланцевой нефти, нужно потратить до семи баррелей чистой воды. На бурение традиционной вертикальной скважины требуется около 200 т воды. Горизонтальная скважина в сланцевом пласте, где осуществляется операция многостадийного гидроразрыва, потребляет воду от 10 до 23 тыс. т. Только после этого газовая скважина может оставаться в категории рентабельных несколько лет.

Потребление свежей воды на типичном месторождении сланцевого газа может составить при однократном гидроразрыве приблизительно от 27 до 86 млн м³, а химикатов 0,5–1,7 млн м³.



Рис. 2. Схема ГРП в горизонтальной скважине

Поскольку на практике на каждой скважине для повышения газоотдачи в зависимости от месторождения могут проводить до 12 гидроразрывов, то общий объем потребленной свежей воды может достигать 0,4–0,5 млн м³. При этом на последующие гидроразрывы, поскольку геологическая структура частично повреждена, может идти даже больше жидкости, чем на первый гидроразрыв.

Воздействие промышленности, связанной с добычей сланцевого газа, на поверхностные водоемы проявляется в двух направлениях. С одной стороны, это забор из водоемов или других источников водоснабжения больших объемов воды, а, с другой стороны, это загрязнение поверхностных вод веществами, содержащимися в жидкости обратного притока, даже если эта жидкость подвергается предварительной очистке. Воды обратного притока являются причиной загрязнения атмосферного

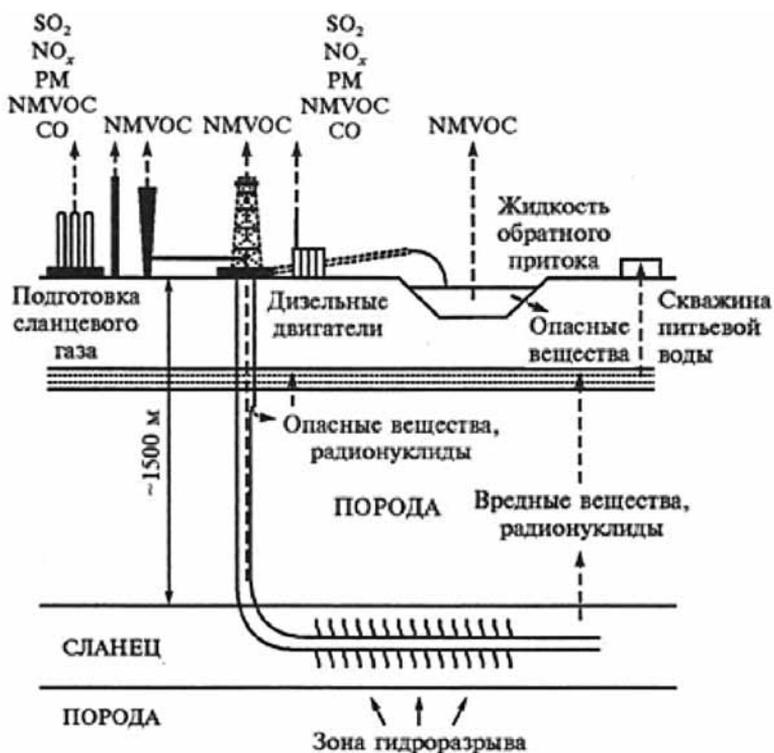


Рис. 3. Воздействие на окружающую среду при разработке месторождения сланцевого газа. NMVOC – летучие вещества, отличные от метана

воздуха и другими веществами. В большинстве случаев эти воды, содержащие как исходные химикаты, используемые при гидроразрыве, так и вещества, вымытые из вмещающих пород, поступают в специальные наземные хранилища. В результате летучие органические соединения, в число которых входят бензол, толуол, кумол, формальдегид, окись этилена и др., могут испаряться и поступать в атмосферный воздух. Кроме того, опасные летучие вещества могут поступать в атмосферный воздух и через оголовок скважинного оборудования [7].

Основные пути поступления вредных веществ в окружающую среду (ОС) при разработке месторождений сланцевого газа приводятся на рис. 3.

Основным критерием при определении допустимой нагрузки на ОС является недопущение снижения биологического разнообразия и продуктивности экосистем.

При оценках воздействия предприятий по добыче сланцевых углеводородов на ОС и регламентации их деятельности принципиальное значение имеют следующие типы загрязнений и нарушений:

- геомеханический тип нарушений — это деформации горного массива и ландшафта: уплотнение, разрыхление, появление шламовых амбаров, прогибов, провалов, насыпей и карьеров;
- гидродинамический тип нарушений — это затопление рельефа сточными водами или истощение водотоков, подтопление грунтовыми водами или образование депрессионной воронки; загрязнение водотоков и водоемов растворенными химическими веществами, изменение минерализации, мутности и температуры вод;
- биоморфологические нарушения-угнетение, уничтожение, изменение видового состава фито- и зооценоза; уменьшение продуктивности и ареала распространения растительного и животного мира;
- литосферное загрязнение — строительство карьеров и скважин, поверхностное и глубинное захоронение отходов, пролив нефтепродуктов, уход буровых растворов в пласт, нагнетание жидкости гидравлического разрыва, изменение гидрогеологического режима недр.

Основные источники выбросов в атмосферу парниковых газов в процессе добычи на типичной скважине месторождения сланцевого газа (США) в течение всего ее жизненного цикла следующие:

- потери метана при транспортировке;

- потери на компрессорах при транспортировке CO_2 ;
- потери при переработке метана;
- потери метана при сливе жидкости обратного притока;
- компрессоры систем сбора газа;
- установка обсадной колонны и др.

Весьма значительное загрязнение атмосферного воздуха метаном и сопутствующими газами в районе освоения месторождений сланцевого газа (выбросы) может составлять около 2 млн м³. С достаточно высокими концентрациями бензола в воздухе [6].

Жидкость обратного притока содержит большой набор органических и неорганических веществ, многие из которых обладают токсичностью или мутагенным действием. Попадание этих веществ на почву или в водоемы неизбежно приводит к гибели или деградации природных экосистем. С другой стороны, и очистка таких сточных вод перед их сбросом в поверхностные водоемы может представлять серьезную проблему.

Вблизи газовых скважин в районах активной добычи сланцевого газа концентрация метана в подпочвенных водах значительно выше, чем в районах, где нет деятельности по бурению и гидроразрыву пласта. В пробах подпочвенных вод, взятых над месторождениями Marcellus и Utica, концентрация метана варьировала от 10 до 64 мг/л. В среднем концентрация метана в активной зоне составляла 19,2 мг/л, тогда как в неактивной зоне она была в 17 раз ниже, чем в неактивной зоне (1,1 мг/л). При этом, содержание метана в ряде случаев значительно превышало безопасный уровень, что было чревато взрывами в смеси с кислородом воздуха. Были известны случаи, когда вода, взятая из источников с высокой концентрацией метана, могла «гореть» [4].

Добыча сланцевых УВ может приводить к загрязнению почвы и питьевых грунтовых вод толуолом, бензолом, этилбензолом, мышьяком и др. Химические смеси, которые используют добывающие компании в процессе работы, могут содержать до 85 наименований токсичных веществ, среди которых:

- соляная кислота, растворяющая минералы;
- этиленгликоль для предотвращения зарастания труб;
- изопропиловый спирт и борная кислота — загустители для поддержания вязкости;
- ингибиторы коррозии (глутаральдегид, формамид);
- нефть для снижения трения;
- карбонаты для поддержания кислотного баланса и др.

Еще один экологический фактор: наиболее ценные зрелые сланцевые месторождения, сформировавшиеся в палеозое и мезозое, имеют высокий уровень гамма-излучения. В результате гидроразрыва радиация вместе с водой попадает в верхние слои осадочных пород, что повышает общий радиационный фон [7].

Месторождения сланцевого газа занимают площади до 245 тыс. км², располагаются на глубине от нескольких сотен до нескольких тысяч метров, а мощность пласта варьирует от нескольких метров до нескольких десятков метров. Даже однократный гидроразрыв пласта, который проводится под давлением жидкости от 50 до 150 МПа, разрушает породу вблизи продуктивной скважины на площади в несколько квадратных километров и по вертикали на несколько сотен метров. Сброс давления приводит к возникновению многочисленных микро-сейсмических явлений, эффект которых проявляется прежде всего вблизи продуктивной скважины. Количество этих микро-сейсмических явлений может составлять несколько сотен, а величина варьировать от 1,6 до 3,6 баллов по шкале Рихтера.

Разработка месторождений сланцевых углеводородов оказывает значительное негативное воздействие на окружающую среду.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Игнатова К. П., Малюков В. П.* Инновационная технология термогазового воздействия на нетрадиционные углеводороды трудноизвлекаемых запасов баженовской свиты. — М.: РУДН, 2013. — 147 с.

2. *Жарков А. М.* Оценка потенциала сланцевых углеводородов России // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. — 2011. — № 3. — С. 16–21.

3. *Стрижнев К. В., Литвин В. Т.* Повышение эффективности технологии интенсификации добычи нефти для коллекторов баженовской свиты // Нефть. Газ. Промышленность. — 2013. — № 50. — С. 26–31.

4. *Байков Н. М., Байкова Е. Н.* Перспективы разработки месторождений сланцевой нефти (часть 1) // Нефтяное хозяйство. — 2013. — № 5. — С. 99–101.

5. *Байков Н. М., Байкова Е. Н.* Перспективы разработки месторождений сланцевой нефти (часть 2) // Нефтяное хозяйство. — 2013. — № 7. — С. 131–135.

6. *Прищепа О. М., Аверьянова О. Ю., Высоцкий В. И., Морариу Д.* Формация Баккен: геология, нефтегазоносность и история разработки // Нефтегазовая геология. Теория и практика. — 2013. — Т. 8. — № 2.

7. *Робинсон Д. Э.* Экологические аспекты при добыче сланцевого газа на примере формации Marcellus. (Охрана окружающей среды при добыче сланцевых углеводородов) // Oil and Gas Journal Russia. — 2012. — № 12. — С. 131–135. **ГАЗ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Малюков Валерий Павлович¹ – кандидат технических наук,
доцент, e-mail: v.malyukov@mail.ru,
Олмасханов Н.П.¹ – магистр,
e-mail: iceboy111@mail.ru,

¹ Российский университет дружбы народов.

Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2017. No. 1, pp. 222–224.

UDC 553.98

V.P. Malyukov, N.P. Olmaskhanov

ENVIRONMENTAL IMPACT OF DEVELOPMENT SHALE HYDROCARBONS

It analyzes the impact on the environment in the development of shale oil and gas in the United States and the Russian Federation. Drilling of horizontal wells with multi-stage hydraulic fracturing has allowed to begin development of shale hydrocarbons. The article discusses the technology development of the largest in the US Bakken shale oil, shale gas Marcellus and Utica, as well as the Bazhenov formation (RF) – which has the largest shale oil resources.

Key words: mining, shale oil, shale gas, Bazhenov formation, fracturing, components for hydraulic fracturing, horizontal well, the permissible load on the environment.

AUTHORS

*Malyukov V.P.*¹, Candidate of Technical Sciences,
Assistant Professor, e-mail: v.malyukov@mail.ru,
*Olmaskhanov N.P.*¹, Magister,
e-mail: iceboy111@mail.ru,

¹ Peoples' Friendship University of Russia,
113093, Moscow, Russia.

REFERENCES

1. Ignatova K. P., Malyukov V. P. *Innovatsionnaya tekhnologiya termogazovogo vozdeystviya na netraditsionnye uglevodorody trudnoizvlekaemykh zapasov bazhenovskoy svity* (Innovation technology of impact to non-traditional hydrocarbons of the bazhenov formation reserves), Moscow, RUDN, 2013, 147 p.
2. Zharkov A. M. Mineral'nye resursy Rossii. *Ekonomika i upravlenie*. 2011, no 3, pp. 16–21.
3. Strizhnev K. V., Litvin V. T. *Neft'. Gaz. Promyshlennost'*. 2013, no 50, pp. 26–31.
4. Baykov N. M., Baykova E. N. *Neftyanoe khozyaystvo*. 2013, no 5, pp. 99–101.
5. Baykov N. M., Baykova E. N. *Neftyanoe khozyaystvo*. 2013, no 7, pp. 131–135.
6. Prishchepa O. M., Aver'yanova O. Yu., Vysotskiy V. I., Morariu D. *Neftegazovaya teologiya. Teoriya i praktika*. 2013. T. 8, no 2.
7. Robinson D. E. *Oil and Gas Journal Russia*. 2012, no 12, pp. 131–135.

