

УДК 622.279

В.А. Кузьминов, С.А. Леонов, Е.В. Перлова, Л.С. Салина

Газосодержащие сланцы как один из видов нетрадиционных ресурсов природного газа низкопроницаемых формаций

Ключевые слова: природный газ, нетрадиционные источники газа, сланцевый газ, низкопроницаемые формации.

Keywords: natural gas, unconventional gas, shale gas, low-permeability formations.

В XXI в. природному газу, как экологически наиболее чистому энергоносителю, отводится главенствующая роль в обеспечении мирового экономического развития. Неравномерное распределение традиционных ресурсов газа приводит к тому, что многие страны, испытывая их дефицит, пытаются восполнить его за счет импорта, оказываясь при этом в зависимости от стран-поставщиков. Подобное положение таит скрытую угрозу экономической безопасности, поэтому ее пытаются преодолеть разными способами:

- диверсифицируя поставки газа путем увеличения количества экспортеров, в том числе за счет развития альтернативных трубопроводному способам его транспортировки (в сжиженном, сжатом и гидратном состоянии);
- разрабатывая и внедряя энергосберегающие технологии;
- развивая технологии получения энергии из ее возобновляемых источников (ветер, вода, солнце и пр.);
- разрабатывая и совершенствуя технологии использования собственных невозобновляемых источников энергии (уран, уголь, нефть, газ).

Развитие последнего направления в ряде стран (США, Канада, Австралия) достигло значительных успехов, особенно заметных в области освоения нетрадиционных газовых ресурсов. К настоящему времени технологически доступна пока лишь та их часть, которая представлена газом плотных коллекторов, угольных и сланцевых толщ. По данным U.S. Energy Information Administration (EIA) (2011), общемировой объем добываемого из этих толщ газа в 2010 г. составил 490 млрд м³, или около 15 % всей мировой добычи газа. Большая часть нетрадиционного газа (около 420 млрд м³), в том числе практически весь сланцевый газ, добывается в США. На остальные страны приходится всего 70 млрд м³, из которых 10 млрд м³ добыто из угольных пластов и 60 млрд м³ – из плотных коллекторов.

Совокупный объем геологических ресурсов рассматриваемой части нетрадиционных источников газа по разным оценкам сопоставим с начальными суммарными ресурсами традиционных (рис. 1).

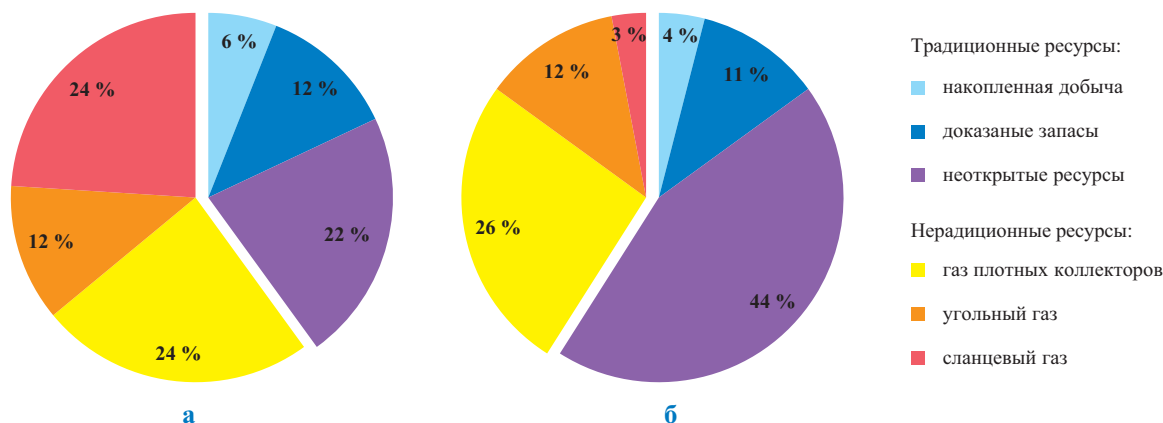


Рис. 1. Соотношение традиционных и нетрадиционных промышленно осваиваемых ресурсов газа в мире (а) и в России (б)

В течение последнего десятилетия в США благодаря начатым еще в начале 1970-х гг. научным исследованиям наблюдался стремительный рост добычи газа из рассматриваемой группы нетрадиционных ресурсов (рис. 2). В 2012 г. в США объем добываемого из них газа составил 472 млрд м³ (более половины общей добычи), а накопленная добыча – свыше 4,5 трлн м³ [1].

По прогнозу EIA (2013 г.), доля нетрадиционного газа в общей газодобыче США будет расти и далее: с 66 % в 2012 г. до 75 % к 2035 г. При этом до конца 2035 г. уровни годовой добычи газа из плотных коллекторов и угольных пластов останутся неизменными (соответственно 170 и 52 млрд м³), добыча традиционного газа снизится (с 235 до 180 млрд м³), а добыча сланцевого газа будет расти темпами, опережающими этот спад (с 215 до 385 млрд м³), обеспечивая уровень годовой совокупной газодобычи почти в 800 млрд м³.

Поскольку добыча газа из плотных коллекторов и угольных толщ достигла своих пиковых возможностей (в силу их ограниченных по сравнению со сланцевым газом ресурсов), становится очевидным стратегическое значение сланцевого газа в энергетическом обеспечении США. Оно подкрепляется переориентацией НИОКР и соответственно объемов финансирования на развитие технологий, которые позволят наиболее полно раскрыть потенциал газодобычи сланцевых толщ.

Суммарный объем мировых геологических ресурсов сланцевого газа, по разным данным, оценивается в 380÷420 трлн м³ [2]. По данным Министерства энергетики США, еще 32 страны (помимо США) обладают собственными ресурсами сланцевого газа. Многие из них готовы перенять опыт США – лидера их промышленного освоения.

В 2011 г. Геологическая служба ФРГ оценила мировой объем технически извлекаемых ресурсов сланцевого газа в 170 трлн м³. Это консервативная оценка, поскольку в ней использован минимальный (0,1) коэффициент пересчета начальных геологических ресурсов в технически извлекаемые (в США его значение находится в диапазоне 0,10÷0,35) (рис. 3).

Согласно этой оценке, в России технически извлекаемые ресурсы сланцевого газа составляют 10 трлн м³, что соответствует объему геологических ресурсов в 100 трлн м³ и превышает в 5÷10 раз оценки большинства российских экспертов. Этот пример свидетельствует о том, что дальнейшее геологическое изучение и получение более достоверной информации, а также совершенствование технологий добычи скажутся на оценке суммарных и технически извлекаемых ресурсов.

Характерная особенность трех видов нетрадиционных ресурсов (газ плотных коллекторов, угольных и сланцевых толщ) – их приуроченность к пластам с низкими фильтрационными свойствами (K_{fp} ниже 0,1 мД). Эта осо-

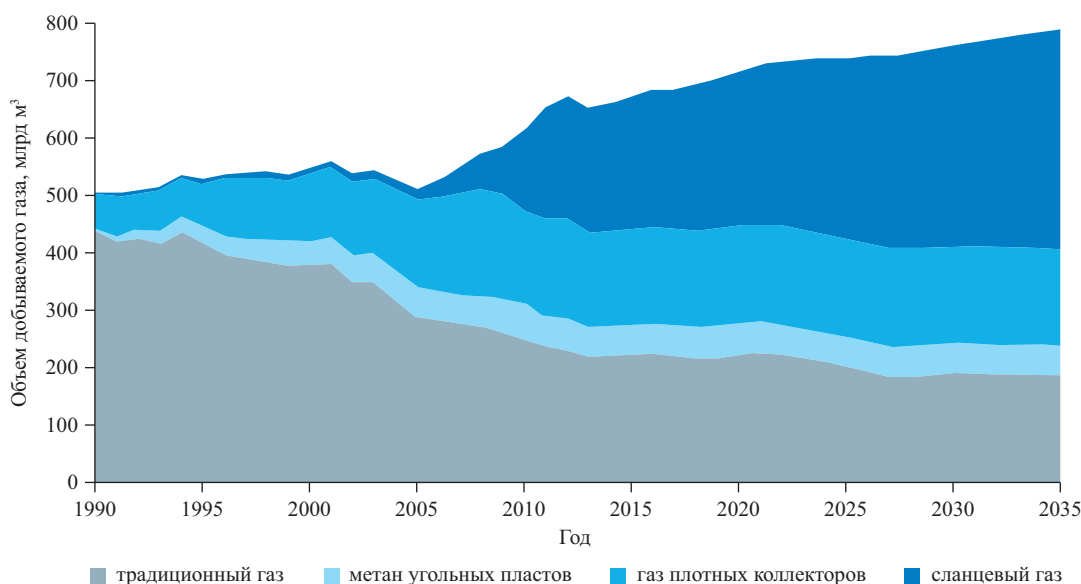


Рис. 2. Фактическое и прогнозируемое изменение структуры добываемого в США природного газа из традиционных и нетрадиционных источников (EIA, 2013)

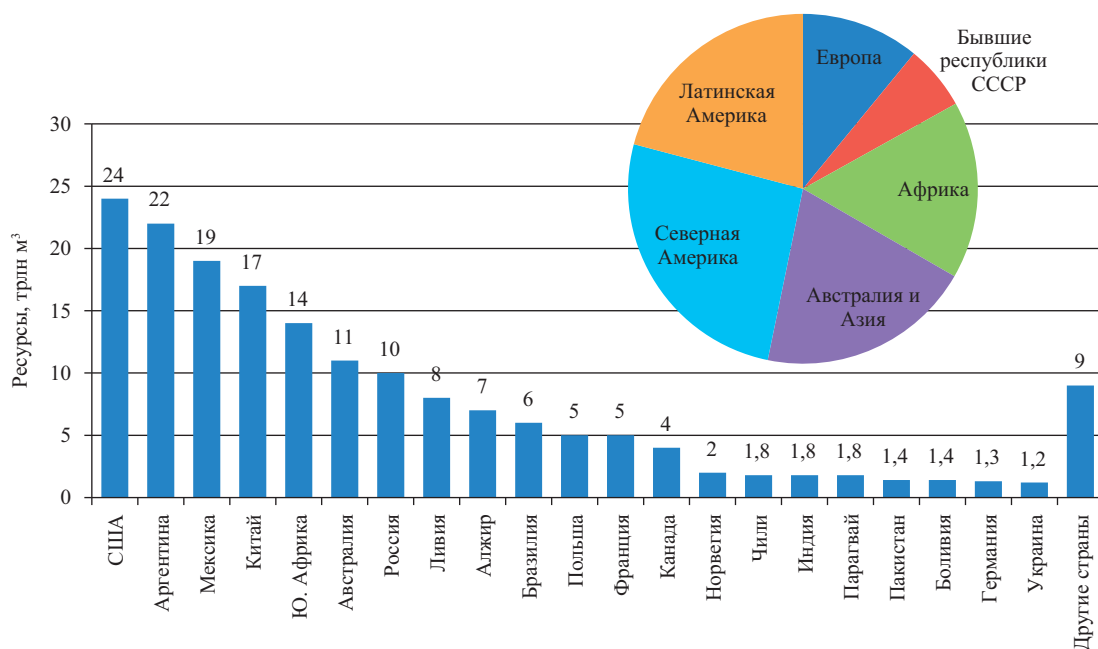


Рис. 3. Распределение технически извлекаемых ресурсов сланцевого газа по континентам и странам мира (из отчета Геологической службы ФРГ, 2012)

бенность, затрудняющая добычу газа без применения специальных методов интенсификации притока, определяет общие принципы их промышленного освоения и сходство технологий поиска, разведки и разработки [3]. Газонасыщенные поля этой группы нетрадиционных ресурсов отличается от традиционных месторождений значительно бóльшая площадь распространения, отсутствие четких границ между газо- и водонасыщенными зонами, довольно низкая плотность ресурсов/запасов.

Специфические особенности газонасыщенных сланцевых и угольных пластов и толщ плотных коллекторов закладываются на ранних этапах седиментации (состав и соотношение минеральной и органической компонент) и в ходе последующего катагенеза (минералогический состав, структура пустотного пространства, зрелость органического вещества). Детальное изучение этих особенностей является необходимым условием для оценки нетрадиционных ресурсов (или запасов) углеводородов и выбора наиболее эффективной технологии извлечения их из недр.

Кратко рассмотрим основные характеристики плотных коллекторов, угольных и сланцевых пластов.

Минералогический состав типичного газосодержащего сланца, из которого добывают газ в США, представлен в основном зернами

кварца и полевых шпатов, а также (в небольшом количестве) кальцита, доломита, сидерита, пирита и значительно более мелких зерен глинистых минералов. В зависимости от содержания последних, характера напластования (пласты или слойки) типичный газосодержащий сланец может быть отнесен к алевролитам, аргиллитам, глинистым аргиллитам, глинистым или аргиллитистым сланцам.

Содержание органического вещества. Сланцевые газонасыщенные толщи по содержанию органического вещества (от 0,5 до 40 %) занимают промежуточное положение между низкопроницаемыми (до 0,5 %) терригенными и карбонатными коллекторами и угольными толщами (более 40 %) (рис. 4). Так же, как и угольные, сланцевые толщи относятся к потенциально газонефтематеринским (в отличие от толщ плотных коллекторов, собственный генерационный потенциал которых недостаточен для газонасыщения).

Количество органического вещества определяет форму нахождения природного газа в этих толщах и соотношение объемов газа в свободном и/или сорбированном состоянии: газ в сланцевых толщах находится как свободном, так и в сорбированном состоянии, газ в угольных пластах – преимущественно в сорбированном, а в плотных коллекторах – преимущественно в свободном (см. рис. 4).

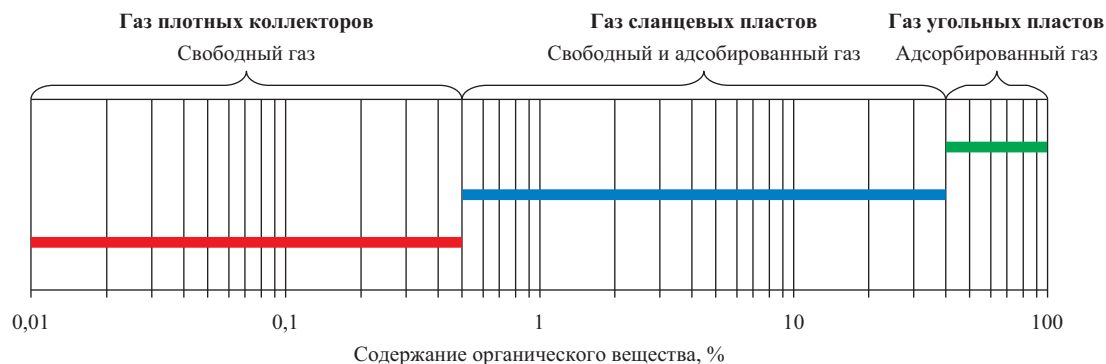


Рис. 4. Формы нахождения природного газа в низкопроницаемых породах с разным содержанием органического вещества (по данным Wintershall, 2010)

Тип органического вещества (гумусовый, сапропелевый, смешанный), помимо других условий, влияет на объем и состав УВ, генерированных сланцевыми и угольными толщами, а также на время генерации. Большинство коммерчески разрабатываемых на газ сланцевых толщ содержат кероген II типа (по Ван-Кревлену), основу которого составляют остатки морских водорослей и привнесенного наземного растительного материала.

Степень термической зрелости органического вещества определяется термобарическими условиями недр и характеризуется коэффициентом отражения витринита (R^o). В сланцах, как и в углях, этот параметр может изменяться в диапазоне 0,1÷4 % и более. Для коммерческой разработки ресурсов газа сланцевых и угольных толщ необходимы значения R^o от 1,2 до 2,1 %. При такой стадии зрелости органического вещества образуются залежи так называемого термогенного сланцевого газа. При более низких (0,5÷1,1 %) значениях R^o образуются биогенные залежи, газ которых генерирован в процессе биогенного метаболизма органических компонентов. Отличительной особенностью биогенных залежей являются более низкие дебиты, более длительный период добычи и очень сухой газ (преимущественно метан).

Для плотных терригенно-карбонатных коллекторов, характеризующихся низким содержанием органического вещества, степень термической зрелости не имеет решающего значения, так как они не являются газонефтематеринскими (см. рис. 4).

Структура пустотного пространства. Пустотное пространство низкопроницаемых коллекторов имеет сложную структуру, которая в упрощенном виде может быть представлена моделью двойной пористости, учитывающей

пористые блоки породы (матрица) и межблоковые трещины. Трещинная проницаемость может в 100 и более раз превышать межзерновую проницаемость блоков матрицы. Существует и более сложная модель, учитывающая кроме вышеперечисленных такой тип пустот, как каверны (модель тройной пористости). В отличие от плотных коллекторов, значительный объем пор в сланцах и углях связан не с минеральной частью, а находится непосредственно в органическом веществе (керогене).

Поскольку диапазон размеров связанных и несвязанных пор газонасыщенных угольных, сланцевых и низкопроницаемых толщ довольно широк, для изучения их объема, структуры порового пространства, содержания органики, эффективной пористости и проницаемости требуются различные методы (рис. 5, 6).

Месторождения и непромышленные залежи горючих сланцев на территории России и бывших республик СССР установлены в отложениях широкого стратиграфического диапазона (от докембрия до неогена) и сосредоточены в восьми сланценосных провинциях (рис. 7, 8). В большинстве случаев горючие сланцы характеризуются глинистым составом, изменяясь от карбонатно- и кремнисто-глинистых (кембрий Восточной Сибири) до чисто глинистых (юра Приволжского бассейна, майкопские отложения Предкавказья).

Прогнозные ресурсы сланцев в России не столь велики, как в США, и составляют 215 млрд т, разведанных запасов на порядок меньше – 35,5 млрд т, доказанных запасов, большая часть которых сосредоточена в Приволжском ФО, – 10,9 млрд т [4]. Для сравнения: в США запасы сланцев в формациях Грин-Ривер, Чаттануга, Юинта, Пайсенс-Крик и других достигают 280 млрд т.

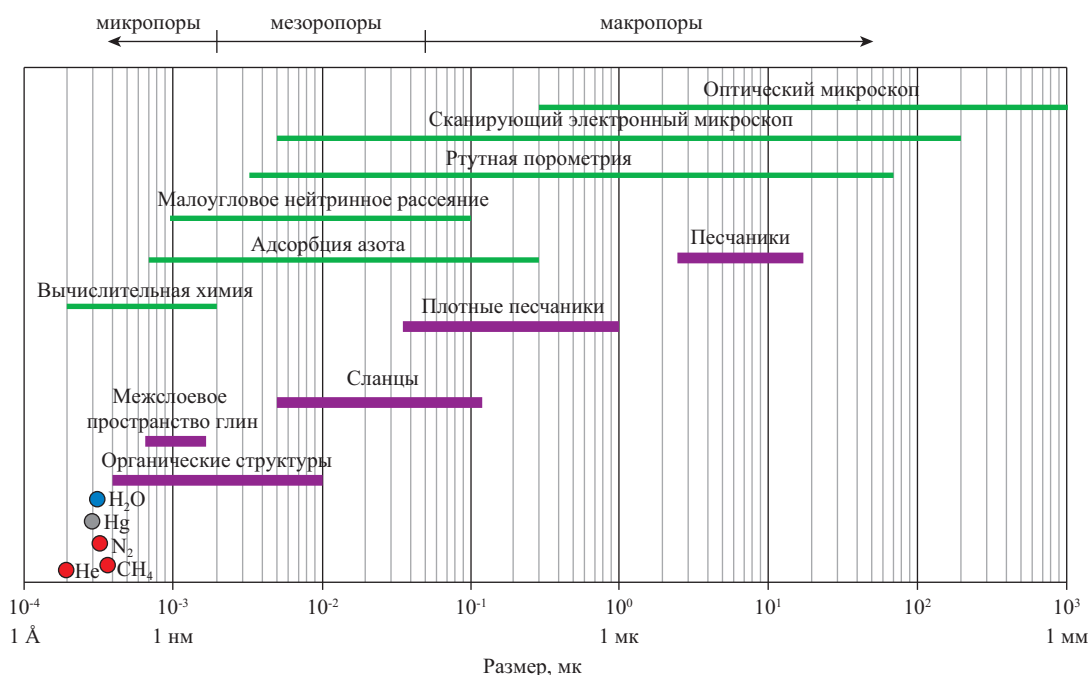


Рис. 5. Сопоставление размеров пор в низкопроницаемых коллекторах, представленных разными породами (песчаник, плотный песчаник, сланцы, глина, уголь), и размера молекул воды, ртути, азота, метана, гелия (по данным Wintershall, 2011)

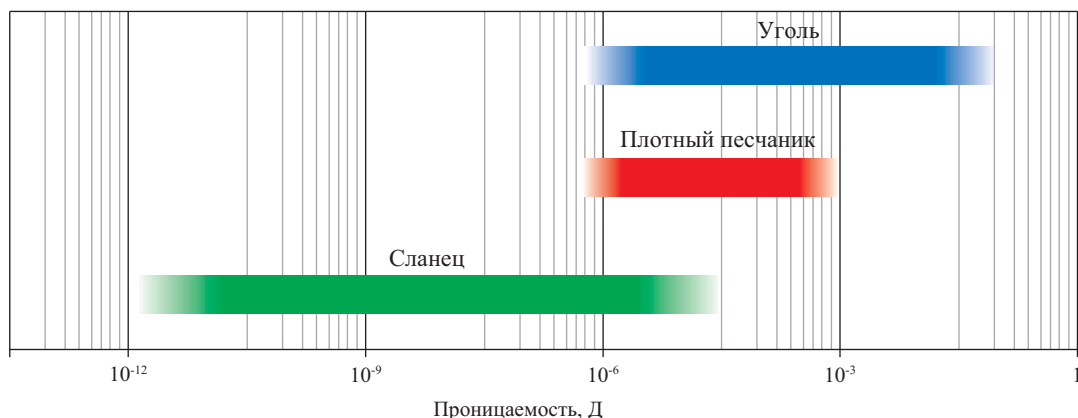


Рис. 6. Диапазоны значений проницаемости низкопроницаемых коллекторов, представленных разными породами (уголь, плотный песчаник, сланец) (по данным Wintershall, 2011)

Использование горючих сланцев в качестве топлива известно давно. Разработка их месторождений для получения газа в России началась в середине XX в. Так, в 1948–1956 гг. для газификации Ленинграда использовался газ, получаемый в заводских условиях (на газоперегонном заводе в г. Сланцы) из горючих сланцев Ленинградского месторождения в Прибалтике. Лишь с переводом в 1956 г. газоснабжения Ленинграда на газ, добываемый из традиционных месторождений, производство сланцевого газа было прекращено.

Добыча сланцевого газа в пластовых условиях (как в США) в России никогда не осуществлялась, и специальных исследований с целью оценки его ресурсов не проводилось.

По экспертной оценке ООО «Газпром ВНИИГАЗ», геологические ресурсы сланцевого газа России могут находиться в пределах $6\div 8$ трлн m^3 , что соответствует примерно 2 % мировых ресурсов ($380\div 420$ трлн m^3).

Значительная часть сланцевых, в том числе черносланцевых, формаций распространена в восточных регионах России: Оленёкский, Синско-Майский и другие бассейны.

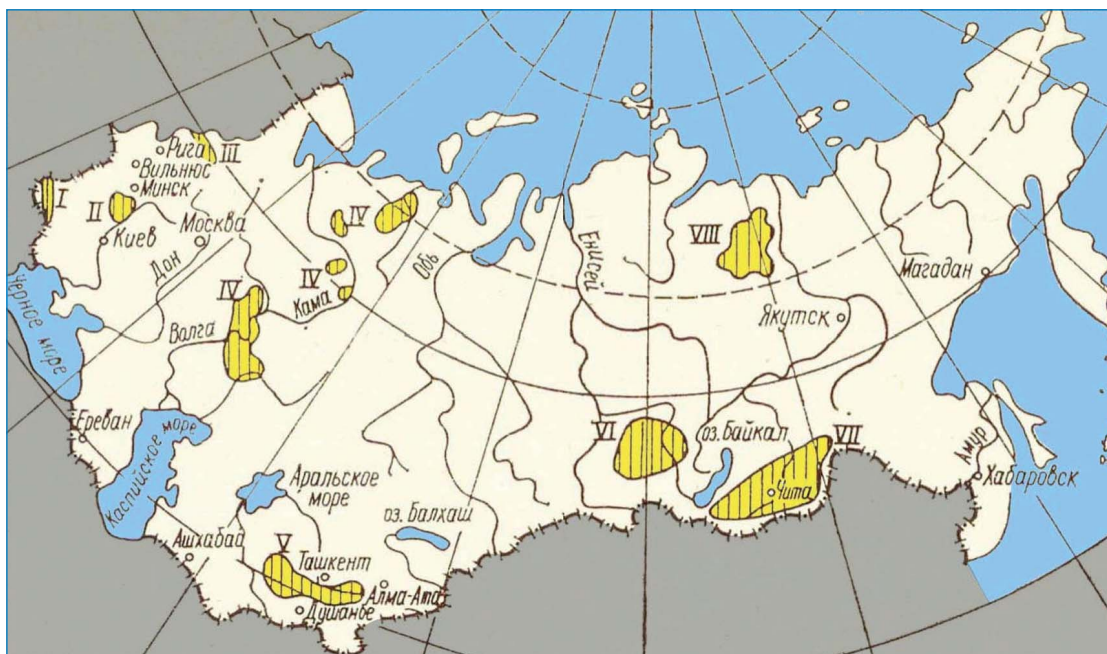


Рис. 7. Сланценозные провинции на территории России и бывших республик СССР [4]:
 I – Карпатская; II – Припятская; III – Прибалтийская; IV – Волжско-Печорская;
 V – Туранская; VI – Прибайкальская; VII – Забайкальская; VIII – Оленёкская

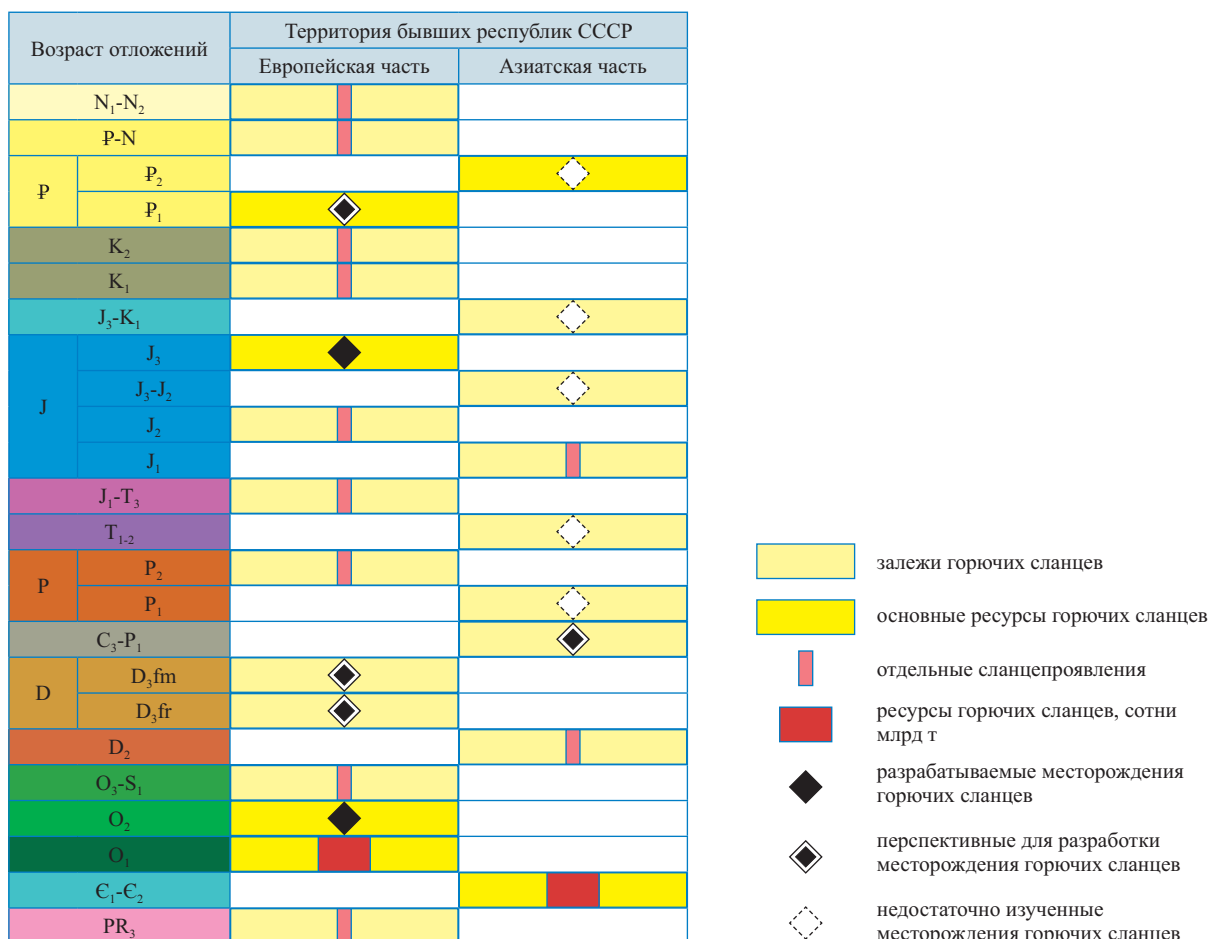


Рис. 8. Стратиграфический диапазон распространения горючих сланцев на территории России и бывших республик СССР [4]

Однако освоение этих ресурсов затруднено рядом факторов:

- слабой геолого-геофизической изученностью сланцевых толщ, не позволяющей достоверно оценить их углеводородный потенциал, что может отразиться на эффективности последующих поисково-разведочных работ. В США изученность сланцевых бассейнов на порядок (или даже два) выше;

- отсутствием отечественных технологий внутрипластовой добычи сланцевого газа. Несмотря на то, что в России имеется опыт применения гидроразрыва пласта низкопроницаемых коллекторов и горизонтального бурения, однако эти технологии были ориентированы на иные объекты;

- отсутствием необходимых законодательно подкрепленных стимулов (как например, раздел 29 «О налоговых льготах» в законодательном акте Конгресса США «О политике в области добычи газа из нетрадиционных источников»);

- низкой буровой обеспеченностью. В США на объекты сланцевого газа ежегодно бурится несколько тысяч скважин. Такой масштаб бурения в ближайшие десятилетия в России маловероятен.

Таким образом, решение о вовлечении в освоение газового потенциала сланцевых толщ в России не является приоритетным. Если оно будет принято, то не столько на основе экономических, сколько социальных критериев и преимущественно в старых нефтегазодобывающих регионах с налаженной инфраструктурой и наличием квалифицированных кадров.

Проведенный специалистами ООО «Газпром ВНИИГАЗ» анализ показал, что для эффективного планирования внешнеэкономической деятельности Общества наиболее актуальным направлением изучения газов сланцевых толщ является мониторинг тенденций их использования в мире в качестве альтернативы российскому природному газу.

Список литературы

1. Kuuskraa V.A. The Unconventional Gas Resource Base / V.A. Kuuskraa // White Paper. Unconventional Gas Series. – Advanced Resources International Inc., 2007.
2. Rogner H.-H. An Assessment of World Hydrocarbon Resources / H.-H. Rogner // IIASA, WP-96-26. – Laxenburg, Austria, 1996.
3. Скоробогатов В.А. Ресурсы газа в низкопроницаемых коллекторах осадочных бассейнов России и перспективы их промышленного освоения / В.А. Скоробогатов, В.А. Кузьминов, Л.С. Салина // Газовая промышленность. – 2012. – № 676 (спецвыпуск). – С. 43–47.
4. Геологическое строение СССР и закономерности размещения полезных ископаемых: в 10 т. / под ред. Г.А. Габриэлянца, А.И. Кривцова, В.М. Терентьева. – Т. 10: Геологическое строение и минерагения СССР. – Кн. 2: Закономерности размещения полезных ископаемых СССР. – Л.: Недра, 1989. – 620 с.