

УДК 552.578.061.4:552.578.3

Прищеп О.М., Аверьянова О.Ю.

Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский нефтяной научно-исследовательский геологоразведочный институт» (ФГУП «ВНИГРИ»), Санкт-Петербург, Россия, omp@vnigri.ru, averyanova@ngtp.ru

К ОБСУЖДЕНИЮ ПОНЯТИЙНОЙ БАЗЫ НЕТРАДИЦИОННЫХ ИСТОЧНИКОВ НЕФТИ И ГАЗА – СЛАНЦЕВЫХ ТОЛЩ

В связи с существенным ростом интереса государства и недропользователей к сырьевой базе углеводородов в низкопроницаемых коллекторах, и в первую очередь, в сланцевых толщах, нефтегазоматеринских породах, содержащих скопления нефти и газа, в условиях постоянного совершенствования технологий разработки нетрадиционных резервуаров, предлагается обсудить понятийную базу. Основной целью является унификация используемой терминологии применительно к различным типам скоплений углеводородов в нетрадиционных плотных породах - сланцевых толщах.

***Ключевые слова:** нефтегазоносность, низкопроницаемый коллектор, нетрадиционный резервуар углеводородов, нефтематеринская порода, сланцевые нефть и газ.*

Обсуждение

Исключительный интерес к проблеме поисков, оценки и разработки скоплений нефти и газа из нетрадиционных коллекторов (резервуаров) вызван огромным прогрессом в технологиях и ежегодным ростом объемов добычи газа и нефти из них, в первую очередь в США [EIA, 2013]. Наиболее неоднозначными понятиями из большой группы нетрадиционных источников углеводородов (УВ), широко используемыми в зарубежной, а в последнее время и в отечественной специальной и популярной литературе, являются такие как «сланцевая нефть» и «сланцевый газ».

Неоднозначность понятий распространяется как непосредственно на вмещающие углеводороды породы, различающиеся по составу (глины, мергели, сланцы, глинистые известняки, кремнистые глины, алевролиты и даже песчаники и т.д.), по коллекторским свойствам (низкопроницаемый, низкопроницаемый низкопоровый, полуколлектор и пр.), так и собственно составу и формам углеводородов, содержащихся в этих породах (нефть, газ, кероген) Нефть и газ, добываемые из низкопроницаемых коллекторов, называют в англоязычной литературе или «shale oil & gas» (нефть и газ сланцев) или «tight oil and gas» (нефть и газ плотных пород).

На всех известных схемах применения новых технологий освоения нетрадиционных типов скоплений (рис. 1) показаны:

1. традиционные скопления (залежи), расположенные в верхней части резервуара под

флюидоупором, содержащие нефть и газ, генерированные в расположенной ниже нефтегазоматеринской толще и перемещенные в коллектор (эмигрировавшие) (conventional natural gas & oil);

2. нетрадиционные нефтегазовые скопления, расположенные непосредственно в нетегазогенерирующей толще, содержащие УВ в рассеянном состоянии, микроскоплениях и скоплениях в наиболее проницаемых и пористых разностях, в зонах трещиноватости и разуплотнения (shale oil & gas);

3. нетрадиционные нефтегазовые скопления и системы, расположенные в полуколлекторе (ложной покрывке) и непосредственно неконтролируемые флюидоупором, генерированные в расположенной ниже нефтегазоматеринской толще и перемещенные (эмигрировавшие) в низкопроницаемый коллектор (tight oil & gas).

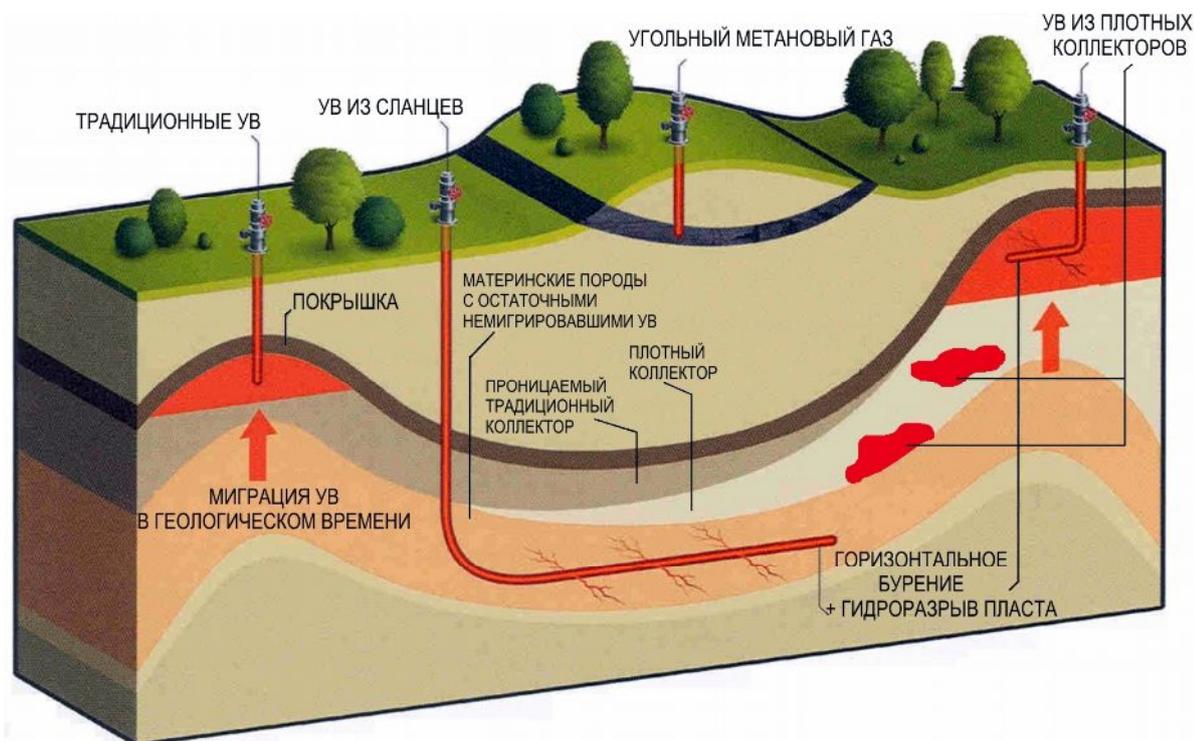


Рис. 1. Унифицированная схема распространения углеводородов в различных резервуарах (Total, 2012 с авторскими изменениями)

В последние несколько в силу применения схожих технологий извлечения для существенно различных нетрадиционных скоплений УВ лет происходит подмена понятий. Понятия, достаточно четко разделяемые в специализированной англоязычной литературе, в популярной зарубежной и отечественной из-за их перепутанности группируются под единым названием нефте- или газосодержащие «сланцы», объединяются генетически разные геологические объекты. Соответственно, нет различия ни по методам изучения, ни по методам оценки, что, безусловно, приводит к малоубедительным выводам и рассуждениям.

Часть недопонимания вызвана несовпадением понятий в англоязычной и российской специализированной литературе. Так, наверное, по этой причине на различных совещаниях и конференциях, посвященных проблемам изучения «сланцевых нефти и газа» представляются сообщения по тематике горючих сланцев и угольных газов, которые, безусловно, являются самостоятельными группами нетрадиционных источников УВ как для изучения, так и освоения, но не имеют никакого отношения к тем дискуссиям, которые обсуждают новые прогрессивные технологии подземной добычи углеводородов, разработанные в последние годы.

Наиболее часто в единую группу нетрадиционных резервуаров из низкопроницаемых коллекторов или полуколлекторов объединяются и собственно нефтегазоматеринские толщи, содержащие созревшие (и недозрелые), но не мигрировавшие из них в смежные породы-коллекторы, нефть и газ, и низкопроницаемые плотные породы, не относящиеся к группе нефтегазоматеринских, с незначительным содержанием органического вещества, залегающие либо выше, либо латерально совмещенные с нефтегазоматеринскими толщами, и содержащими генерированные в этих смежных толщах затем перемещенные (мигрировавшие) нефть и газ. Такому группированию способствовало, в частности, и изменение системы учета в США добычи газа в 2009 г., когда ранее четко разделяемые учитываемые группы натурального природного газа, угольного газа и сланцевого газа были объединены в единую группу природного газа, при этом в единую группу добываемой нефти из низкопроницаемых и плотных коллекторов объединялись как традиционные скопления в коллекторах низкого качества, так и нетрадиционные скопления нефти в нефтематеринских толщах.

Последние - скопления УВ в нефтегазоматеринских толщах, принципиально необходимо различать на 1) нефть и газ, находящиеся в пустотах нефтегазоматеринских преимущественно глинистых или глинисто-карбонатных пород: в микропорах, микротрещиноватостях, в послойной трещиноватости, в терригенных прослоях и 2) рассеянное органическое вещество, содержащееся в виде керогена. Продуктом преобразования керогена, могут быть как нефть, так и газ [Неручев и др., 2006]. Кероген в сланцах соответствует нерастворимому органическому веществу сапропелитов, из которого могут быть получены и нефть и газ после деструктивной перегонки при пиролизе. При нагревании сапропелитового керогена будут получены нефть и газ, при нагревании керогена гумусовой природы – в, основном, газ.

При этом под «сланцевыми» газами понимаются природные преимущественно метановые газы, диспергированные в низкопроницаемых глинистых (shale reservoir) и плотных (tight reservoir) породах, т.е. газы уже генерированные на соответствующих этапах преобразования органического вещества.

В петрологической терминологии под нефтегазоносными сланцами понимается целый ряд твердых, многослойных пелитовых пород, таких как глина, мергель, глинистый известняк, аргиллит, алевролит и собственно сланец, вмещающие всевозможные формы органического вещества, отражающие стадии его зрелости. Отличаясь текстурными характеристиками от других пелитовых пород, сланцы всегда имеют способность расщепляться на пластинки. Нефть и газ в таких породах располагается преимущественно в диффузно рассеянном состоянии и в микротрещинах.

Важной отличительной особенностью традиционных залежей от скоплений в сланцевых (shale reservoir) и в плотных (tight reservoir) коллекторах является то, что последние образуют, так называемые *залежи непрерывного типа* [Морариу, Аверьянова, 2013]. Они не контролируются структурными, стратиграфическими, литологическими и прочими традиционными факторами. Чаще всего отсутствует и непосредственный контроль залежи флюидоупором сверху, а также не фиксируется ограничивающий подошву залежи водонефтяной контакт. При этом в целом же, для нефтегазовых систем непрерывного типа в сланцевых низкопроницаемых коллекторах (развитых в нефтегазоматеринской толще) флюидоупоры, ограничивающие толщу, как правило, развиты сверху и снизу.

Авторы предлагают использовать следующее единое понятие для нетрадиционных скоплений в сланцевых (shale reservoir) и в плотных (tight reservoir) коллекторах - *непрерывные нефтегазовые системы*, включающие рассеянные углеводороды, содержащиеся в породах с низкой проницаемостью матрицы вне зависимости от открытости трещин (естественной или в результате использования методов стимуляции для добычи), без четко определенных по падению водонефтяных контактов (они не локализованы плавучестью нефти или газа в воде), структурно и стратиграфически не контролируемые.

Примерами нетрадиционных непрерывных нефтегазовых систем являются скопления газов и нефтей в низкопроницаемых плотных коллекторах, газы угольных пластов, нефть и газ в сланцевых и в глинисто-карбонатных нефтегазоматеринских толщах. В отличие от традиционной добычи, добыча нефти из непрерывной нефтегазовой системы обычно требует в пределах блока с применением горизонтального, совмещенного с методами стимулирования отбора нефти, и в меньшей мере вертикального бурения.

В последнее время во многих добывающих странах используют опыт США по изучению нефти и газа из сланцевых толщ, из низкопроницаемых коллекторов, так как США долгие годы успешно разрабатывают и осуществляют горизонтальное бурение и многостадийный гидроразрыв пласта, ежегодно наращивая добычу УВ (рис. 2, 3).

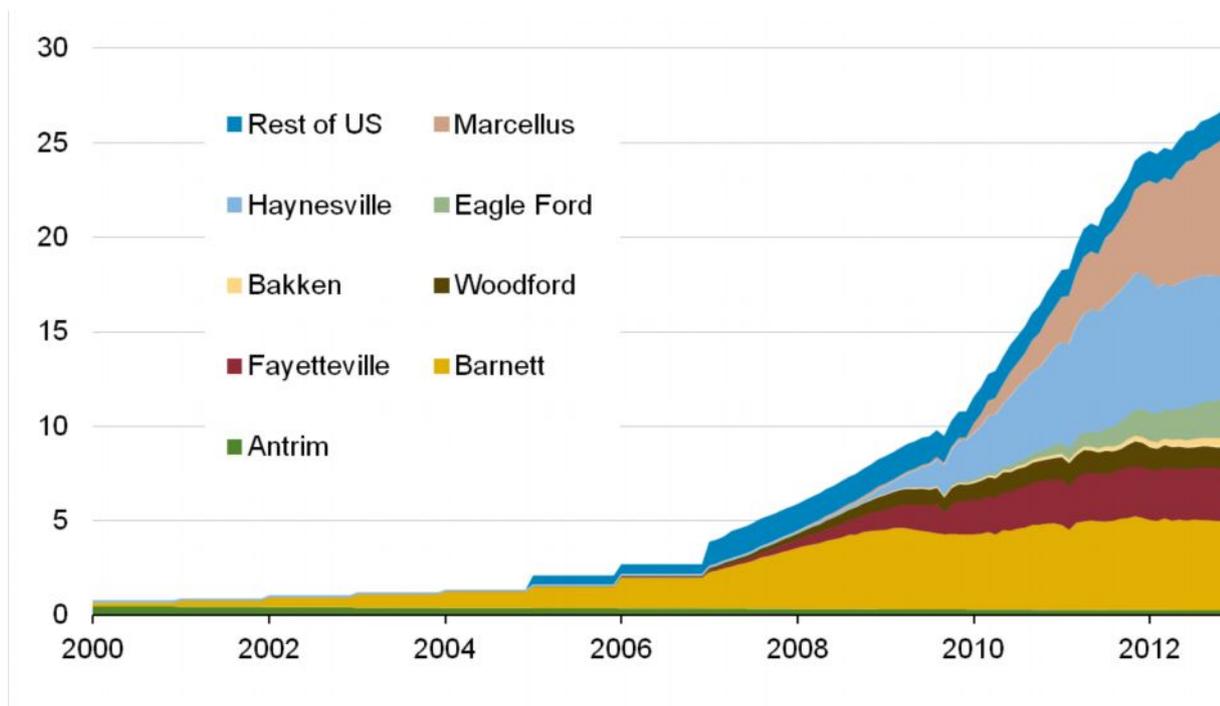


Рис. 2. Добыча газа из плотных коллекторов в США, млрд.куб.фут/день [EIA, 2012]

К примеру, разрабатываемые нефтегазовые непрерывные скопления (нетрадиционные коллекторы) формации Баккен (США и Канада) в одноименных материнских породах являются ярким примером самодостаточных непрерывных скоплений сланцевой нефти. Более 38% (36 млн. т) добытой в 2012 г. в США нефти из плотных пород приходится на долю сланцевой формации Баккен (см. рис. 3).

В формации Баккен представлены нефтематеринские породы, традиционные/нетрадиционные коллекторы и сланцы, содержащие как непосредственно кероген, так и продукты его преобразования (нефть и газ) в микроскоплениях и рассеянном состоянии. Нетрадиционными коллекторами в центральной формации Баккен выступают верхняя и нижняя сланцевые части (термальнозрелые нефтематеринские породы) и комбинированный (традиционно/нетрадиционный) коллектор средней песчаной части. По периферии распространения формации нефтематеринские породы не достигли термальной зрелости и содержат кероген, который также сможет в перспективе разрабатываться после соответствующего процесса - пиролиза.

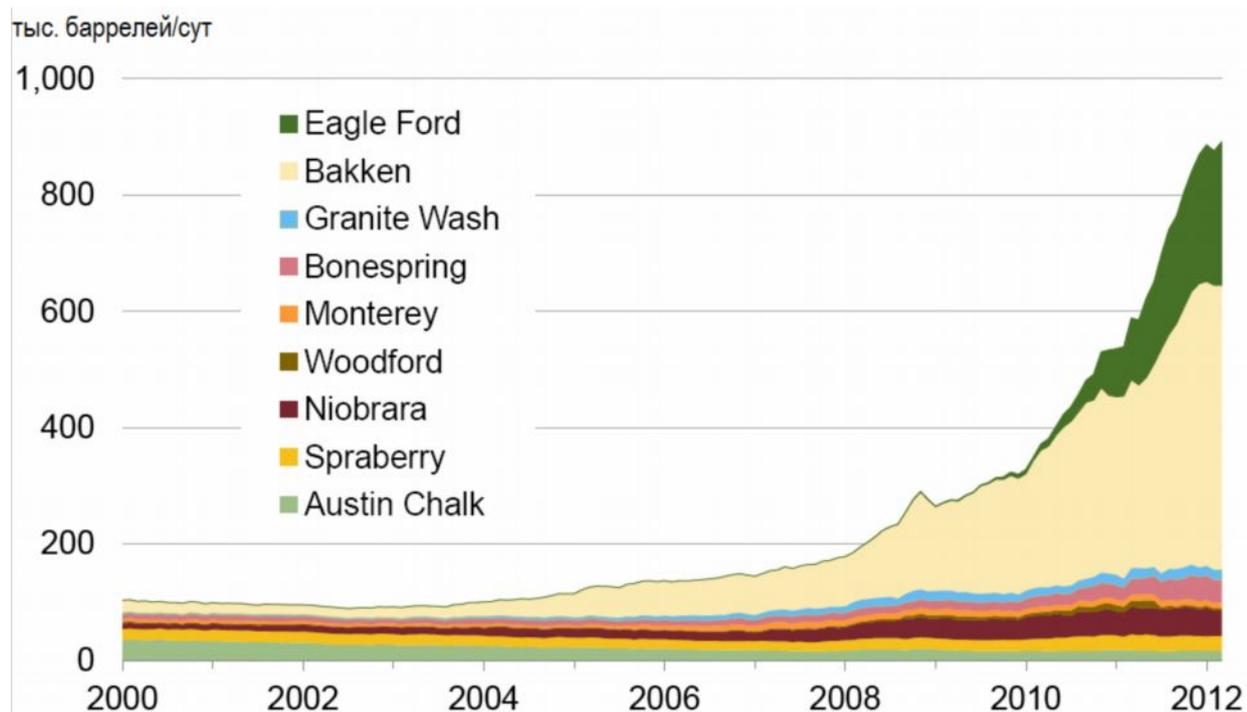


Рис. 3. Добыча нефти из плотных пород различных формаций США за период 2000-2012 гг. [EIA, 2012]

Недозревшее органическое вещество (кероген) нефтематеринских толщ станет предметом активного промышленного освоения, скорее всего, за пределами текущего десятилетия. Нефть, которая будет добываться из керогена путем получения нефтепродуктов после его нагрева при температурах порядка 300-500°C при отсутствии кислорода (пиролиз) непосредственно из нефтематеринских сланцев («oil shale»), безусловно, является стратегическим резервом будущего.

Таким образом, принципиально важно не путать *кероген* нефтегазоматеринских толщ и уже генерированные *нефть и газ*, содержащиеся в рассеянном состоянии, в микропорах, микротрещиноватостях, в послойной трещиноватости в пределах нефтегазоматеринских толщ.

Последнее крайне важно для оценки потенциала первоочередных для разработки «сланцевых» объектов в России – нефтегазоматеринских, особенно, таких, например, как баженовская свита, обладающая огромным генерационным потенциалом, но достаточно плохо изученная с точки зрения возможностей добычи нефти непосредственно из нее (текущие исследования ведутся, например, компанией ОАО «Сургутнефтегаз»).

Термин «shale oil» (сланцевая нефть) наиболее подходит для *нетрадиционной непрерывной нефтегазовой системы*, в которой отложения, преимущественно тонкозернистые (такие как глины, аргиллиты, мергели и глинисто-карбонатные породы)

содержат жидкие углеводороды непосредственно в пределах нефтематеринской толщи в силу ее закрытости (например, ограниченности флюидоупором снизу и сверху).

К «tight oil» (нефть из плотных пород) относятся скопления нефти в низкопроницаемых породах, (не обязательно являющиеся сланцами, например, представленные глинистыми известняками, известняками или песчаниками), обладающих петрофизическими свойствами низкого качества и относящимися к нетрадиционным (табл. 1).

Таблица 1

Характеристика проницаемости пород-коллекторов вне зависимости от типа пустот

Проницаемость, мД	Качество проницаемости горной породы	Резервуары
от 100,00 до 10,00	высокопроницаемые	традиционные
от 10,00 до 1,00	среднепроницаемые	
от 1,00 до 0,10	низкопроницаемые	
от 0,10 до 0,01	низкопроницаемые – плотные породы:	нетрадиционные
от 0,01 до 0,001	сверхнизкопроницаемые – сверхплотные породы	
от 0,001 до 0,0001	экстремально низкопроницаемые – экстремально сверхплотные породы	

Для традиционных коллекторов УВ обычно применяют деление по проницаемости вне зависимости от характера пустотного пространства на пять классов коллекторов, последний из которых при проницаемости менее 1 мД является для традиционного резервуара непромышленным, а для нетрадиционного коллектора рассматриваются плотные породы с проницаемостью ниже 0,1 мД и средней пористостью до 3-5%. При подсчетах запасов в России наиболее традиционно используется граничное значение пористости на уровне более 6%, хотя многочисленные примеры свидетельствуют о получении промышленных притоков нефти и газ при гораздо более низких значениях пористости.

Таким образом, понятия «shale oil and gas» (нефть и газ сланцев) и «tight oil & gas» (нефть и газ плотных пород) можно считать с одной стороны несовпадающими, в первую очередь из-за критериев их выделения, а с другой необходимо понимать, что вторые полностью поглощают первые (рис. 4).

Итоги

Обобщающий и наиболее часто употребляемый сегодня в нефтедобыче в США термин «tight oil» (нефть из плотных пород – низкопроницаемых коллекторов) сегодня чаще применяется для обозначения всего многообразия «нетрадиционных» источников нефтей, требующих для добычи применения специальных технологий (включающих бурение многоствольных горизонтальных скважин, многостадийные гидроразрывы, микросейсмические и микроскановые наблюдения). В эту же группу часто включаются и

нефти, не мигрировавшие после генерации в вышележащие или прилегающие к нефтематеринским формациям толщи, т.е. запечатанные в генерирующей толще («shale oil»), что с точки зрения технологий непротиворечиво.

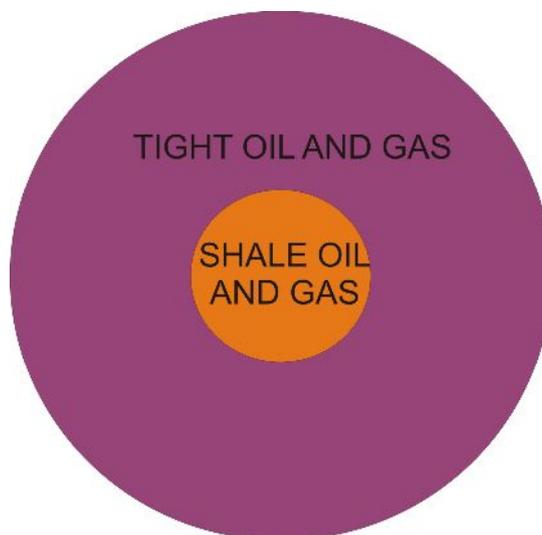


Рис. 4. Диаграмма соотношения нахождения нефти и газа в сланцевых и плотных породах

По мнению авторов, самый неудачный термин был применен в англоязычной литературе к керогену сапропелевой природы («oil shale»), содержащемуся в так называемых нефтеносных сланцах, потому что в породе нефти нет. Нефть и газ, которые могут быть получены путем пиролиза из керогена, не прошедшего соответствующих стадий генерации и обозначаемые как «сланцевые» («oil shale»), необходимо отличать от генерированных УВ.

Таким образом, с точки зрения промышленной значимости, сегодня используется только непрерывные залежи генетически зрелой нефти, в разнородных скоплениях и микроскоплениях как непосредственно в нефтематеринской толще, так перемещенной в вышележащие и неконтролируемые структурно или стратиграфически плотные породы (с плохой проницаемостью и чаще очень низкой пористостью, первичной или вторичной, менее 5%, значение которой меняется в зависимости от минерального состава пород). Генетически эта нефть является, по сути, традиционной нефтью, перемещенной (собранной из рассеянного состояния), но находящейся в пласте в неподвижном состоянии, в силу чего ее извлечение требует соответствующих технологий [Прищепа, Аверьянова, 2013].

Все нетрадиционные резервуары представленные плохопроницаемыми, часто низкопоровыми породами - плотными песчаниками, низкопоровыми карбонатами, мергелями, аргиллитами и сланцами, содержащие традиционные (с точки зрения их образования) нефть и газ относятся в англоязычной литературе к «tight oil & gas».

Собственно скопления в сланцевых нефтегазоматеринских толщах («shale oil») с точки зрения технологии извлечения являются, по сути, частным случаем и включаются в группу «tight oil & gas».

Таким образом, в русскоязычной трактовке термины «сланцевые нефть и газ» в соответствии с вышесказанным для однозначности трактовки должны применяться только по отношению к скоплениям (в непрерывных нефтегазовых системах) в пределах нефтегазоматеринских толщ прошедших стадии катагенеза, позволивших генерировать соответственно нефть или газ.

При этом скопления нефти и газа (в непрерывных нефтегазовых системах) в низкопроницаемых и низкопоровых породах (полуколлекторах, ложных покрывках) [Бескопыльный, Айсберг, 2012] предлагается называть «скоплениями в нетрадиционных резервуарах», не включая в него «сланцевые нефти и газы».

Таким образом, объединение в единую группу разнотипных (эмигрировавших и не перемещенных генетически зрелых нефтей) в низкопроницаемых нетрадиционных коллекторах не имеет принципиальных различий с точки зрения применяемых технологий извлечения, но имеет принципиальное значения с точки зрения методов поиска и оценки потенциала таких объектов.

Нефть и газ, которые могут быть получены из органического вещества, не прошедшего стадию генерации в природных условиях в нефтегазоматеринских толщах, являются отдельным предметом как изучения и оценки, так и технологий преобразования и извлечения [Морариу, Аверьянова, 2013]. По отношению к ним некорректно применять термин «сланцевая нефть и газ». Для них в русскоязычной литературе должен использоваться отдельный термин, как и для угольного газа.

Литература

Бескопыльный В.Н., Айсберг Р.Е. Углеродородный потенциал полуколлекторов осадочно-породных бассейнов Беларуси // Доклады НАН Беларуси. - 2012. - Т. 56. - С. 98-103.

Морариу Д., Аверьянова О.Ю. Некоторые аспекты нефтеносности сланцев: понятийная база, возможности оценки и поиск технологий извлечения нефти // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2013. - Т.8. - №1. - http://www.ngtp.ru/rub/9/3_2013.pdf

Неручев С.Г., Баженова Т.К., Смирнов С.В., Андреева О.А., Климова Л.И. Оценка потенциальных ресурсов углеводородов на основе моделирования процессов их генерации, миграции и аккумуляции. – СПб.: Недра, 2006. – 364 с.

Прищепина О.М., Аверьянова О.Ю. Роль нетрадиционных источников углеводородного сырья в минерально-сырьевой политике // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. - 2013. - №1 – С. 21-24.

EIA - U.S. Energy Information Administration. Дата доступа: март 2013. - URL: <https://www.eia.gov/>

Unconventional gas. Total, October 2012. – URL <https://www.total.gov/>

Prishchepina O.M., Averyanova O.Yu.

All-Russia Petroleum Research Exploration Institute (VNIGRI), Saint Petersburg, Russia, omp@vnigri.ru, averyanova@ngtp.ru

CONTRIBUTIONS TO THE TERMINOLOGY OF HYDROCARBONS BEARING SHALE FORMATIONS – UNCONVENTIONAL SOURCES OF OIL AND GAS

The terminology of shale formations is discussed in the article, which is substantiated by significant growth of interest of the petroleum industry to the hydrocarbon resources in the unconventional/tight reservoir. The same interest was dedicated to the hydrocarbons bearing shale deposits found under continuous improvements of shale formations development. The main goal is to unify the terminology related to different types of hydrocarbon accumulations in unconventional tight rocks - shale formations.

Key words: *petroleum potential, tight reservoir, unconventional hydrocarbon reservoir, source rocks, oil and gas from shale.*

References

Beskopyl'nyy V.N., Ayzberg R.E. *Uglevodorodnyy potentsial polukollektorov osadochno-porodnykh basseynov Belarusi* [Hydrocarbon potential of semi-reservoirs of sedimentary basin of Belarus] // Doklady NAN Belarusi, 2012, vol. 56, p. 98-103.

EIA - U.S. Energy Information Administration. Retrieved: March 2013, available at: <https://www.eia.gov/>

Morariu D., Averyanova O.Yu. *Nekotorye aspekty neftenosnosti slantsev: ponyatiynaya baza, vozmozhnosti otsenki i poisk tekhnologiy izvlecheniya nefti* [Some aspects of oil shale - finding kerogen to generate oil]. Neftegazovaya Geologiya. Teoriya I Praktika, 2013, vol. 8, no. 1, available at: http://www.ngtp.ru/rub/9/3_2013.pdf

Neruchev S.G., Bazhenova T.K., Smirnov S.V., Andreeva O.A., Klimova L.I. *Otsenka potentsial'nykh resursov uglevodorodov na osnove modelirovaniya protsessov ikh generatsii, migratsii i akkumulyatsii* [Evaluation of potential hydrocarbon resources on the basis of modeling processes of their generation, migration and accumulation]. Saint Petersburg: Nedra, 2006, 364 p.

Prishchepina O.M., Aver'yanova O.Yu. *Rol' netraditsionnykh istochnikov uglevodorodnogo syr'ya v mineral'no-syr'evoy politike* [The role of unconventional hydrocarbon sources in the mineral policy] // Mineral'nye resursy Rossii. Ekonomika i upravlenie, 2013, no. 1, p. 21-24.

Unconventional gas. Total, October 2012, available at: <https://www.total.gov/>

© Прищепина О.М., Аверьянова О.Ю., 2013