

Нетрадиционные трудноизвлекаемые ресурсы нефти и газа: проблемы освоения и экологии

В.Л. Шустер

д.г.-м.н., профессор, главный научный сотрудник^{1,2}
tshuster@mail.ru

С.А. Пуанова

д.г.-м.н., ведущий научный сотрудник¹
punanova@mail.ru

¹Институт проблем нефти и газа РАН, Москва, Россия

²Российский государственный университет нефти и газа им. И.М. Губкина, Москва, Россия

В статье рассмотрены особенности строения и нефтегазоносности низкопроницаемых пород-коллекторов и опыт поисков и освоения нетрадиционных ресурсов нефти и газа в этих породах (сланцах, баженидах, доманикитах).

Ключевые слова

нефть, газ, трудноизвлекаемые ресурсы, низкопроницаемые коллекторы, формации, перспективы нефтегазоносности, скважины

В большинстве нефтедобывающих стран мира наметился тренд падения добычи и прироста ресурсов и запасов из хорошо изученных традиционных терригенных и карбонатных пород-коллекторов, залегающих на сравнительно небольших глубинах до 4–5 км и, как правило, на суше — так называемых традиционных (conventional) источников углеводородов (далее — УВ). Возникла необходимость поиска новых нетрадиционных (unconventional) источников УВ. Это газогидраты и водорастворенные газы континентов, газы в угленосных отложениях, высоковязкие тяжелые нефти, нефтяные пески и природные битумы (Heavy oil, Shail oil, Oil and Tar sands), нефти в плотных формациях и низкопроницаемых коллекторах (Tight oil and gas). Следует отметить, что мировые ресурсы УВ в плотных формациях и низкопроницаемых коллекторах, а также тяжелых нефтей, соизмеримы (и даже несколько больше) с ресурсами традиционных нефтей и газов [1].

Низкопроницаемые породы-коллекторы, содержащие нефть и газ, это: сланцы (США), породы баженовской свиты в Западной Сибири, отложения доманиковой свиты в Тимано-Печорском нефтегазоносном бассейне (далее — НГБ), куонамской свиты в Восточной Сибири, кумской свиты в Предкавказье. Все эти отложения часто объединяют в общую группу — сланцы, что, по нашему мнению, неправильно. У каждого из этих типов пород-коллекторов свои особенности геологического строения и нефтегазоносности. Объединяет их низкая проницаемость, высокое содержание органического вещества и общие методы их разработки и добычи. Это

бурение горизонтальных скважин и мультигидроразрыв пласта (далее — ГРП).

По разным причинам и в России, и в ряде других стран активного освоения нефтегазовых ресурсов в низкопроницаемых коллекторах не проводится. Это происходит, в основном, по технологическим, экономическим и экологическим причинам.

Сланцы — это породы смешанного литологического состава, состоящие из алевроитовой и пелитовой фракций, обладающие сланцеватостью и высоким содержанием органического вещества (ОВ). Проницаемость сланцев, как правило, ниже 1 мД, минимальная — 0,01–0,001 мД. В профессиональной литературе встречаются следующие названия низкопроницаемых пород-коллекторов, применяемые в России: нетрадиционный коллектор, трещинный глинистый коллектор, тонкоплитчатый коллектор, аргиллитоподобный коллектор, листоватый коллектор, сланцы газовые, сланцы нефтяные, «жирные» сланцы, силициты или кремнистые породы, доманикиты, бажениды, хадумиты.

На рис. 1 дана схема скоплений УВ как традиционного, так и нетрадиционного типа.

Основные неопределенности и, соответственно, риски при проведении работ в сланцевых породах сводятся к следующему:

- отсутствие четкого представления о модели продуктивного пласта, о типе коллектора, о характере газонефтенасыщенности;
- неэффективность типовых интерпретационных методик как промысловой геофизики, так и сейсморазведки (отсутствует связь между физической характеристикой

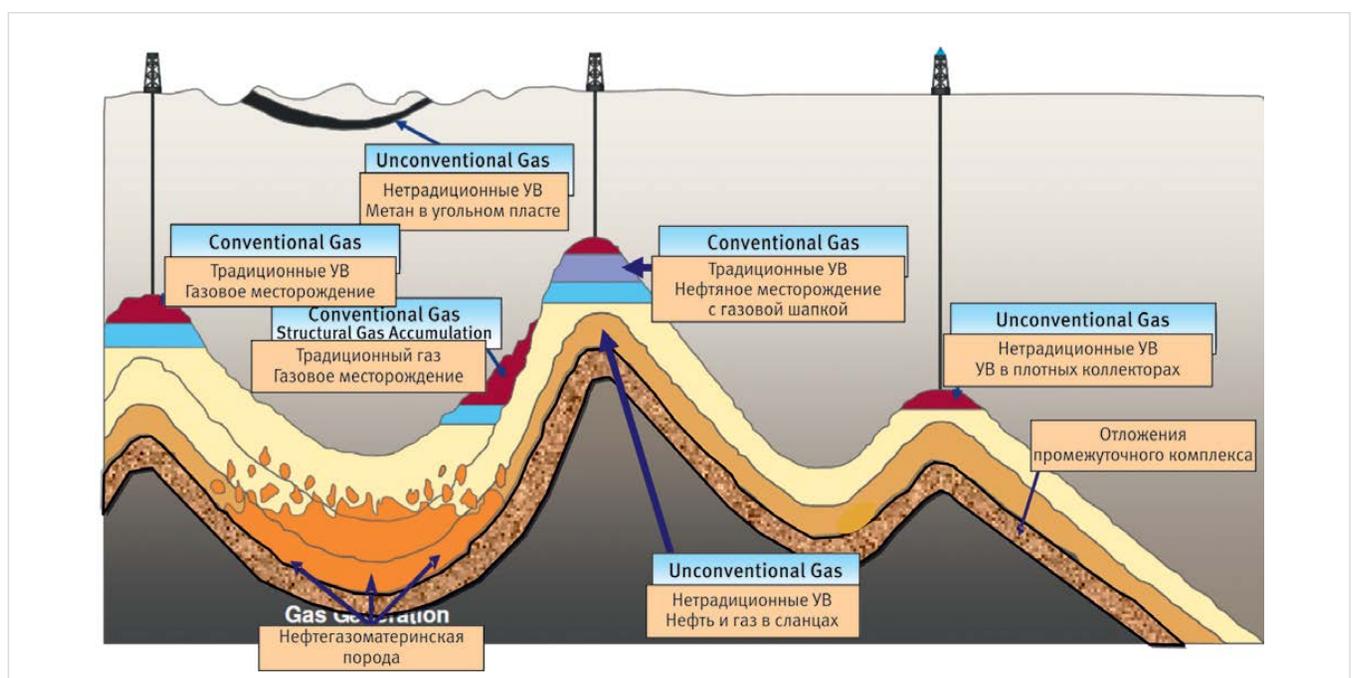


Рис. 1 — Схема традиционных и нетрадиционных скоплений УВ
Fig. 1 — Scheme of traditional and non-traditional hydrocarbon accumulations

- объекта и сейсмическими атрибутами);
- технологические сложности при вскрытии и интенсификации пласта;
- малопригодность стандартных лабораторных методов определения подсчетных параметров;
- в области экономики: высокая затратность при освоении сланцевой нефти (4–5 лет назад стоимость добычи барреля нефти составила 60–80 долл., по последним сообщениям, в связи с усовершенствованием технологии, уже 40 долл. То же самое касается сланцевого газа: добыча эффективна при высоких ценах и повышенном спросе);
- в области экологии: скопление значительных объемов загрязненной воды вблизи месторождений, которая не утилизируется, а также загрязнение грунтовых вод вредными химикатами (толуол, мышьяк, соляная кислота и др.); потери метана приводят к парниковому эффекту; сланцы имеют высокий уровень гамма-излучения, что приводит к повышению радиационного фона.

Отсюда и главные проблемы, осложняющие поиски, разведку и освоение ресурсов сланцевой нефти. Во-первых, необходимо разработать методику выявления и картирования нефтесодержащего объекта и создание модели строения залежи, еще до начала поисково-разведочного бурения. И, во-вторых, требуется разработка новых и промышленное освоение известных методов добычи, таких как мультигидро разрыв пласта и горизонтальное бурение скважин. Такие исследования проводятся в России [2, 3, 4].

О.М. Прищепа [5] при оценке перспектив нефтегазоносности УВ в сланцевых породах предлагает использовать следующие критерии:

- характер среды осадконакопления (морская, континентальная и др.);
- площадь распространения сланцевой толщи;
- строение (модель);
- мощность сланцевой толщи и отдельно толщина обогащенных органикой интервалов;
- глубина (подошва, кровля) толщи;
- среднее содержание органического углерода — $C_{орг}$;
- катагенетическая зрелость (R_o , %);
- оценка фильтрационно-емкостных свойств (далее — ФЕС) пород.

Рядом авторов [5, 6] предпринята попытка выделить перспективные сланцевые бассейны на территории России с прогнозной оценкой извлекаемых ресурсов в нефтяном эквиваленте по методу Фишера (США) — условное содержание нефти на 1 м^3 породы при поверхностной дистилляции из сланцев. Это Колымо-Омолонский (нефти — 8 млрд т, газа — 8 трлн м^3), Тунгусский (нефти — 8 млрд т, газа — 8 трлн м^3), Нелькано-Сетт-Дабанский — 2,0–4,0 млрд т нефти, Енисей-Хатангский — 1,5–2,5 млрд т нефти.

Баженовское «направление» геологоразведочных работ рассматривается в России как одно из перспективных для прироста запасов и увеличения добычи нефти [2], и уже сегодня и в ближней перспективе происходит освоение баженовской нефти Западной Сибири — одного из нетрадиционных источников УВ. По данным А.Э. Конторовича [2], извлекаемые ресурсы баженовской свиты составляют 18–60 млрд т. Первое Верхне-Салымское месторождение нефти в баженовских

отложениях Западной Сибири открыто в 1967 г., разрабатывается с 1974 г. По данным центра В.И. Шпильмана, сегодня открыто 135 залежей нефти и газа на 54 месторождениях в баженовской свите. Отложения баженовской свиты распространены в Западной Сибири на площади 1 млн км^2 . Сделаны первые шаги по созданию геологических моделей строения баженовской свиты, вырабатываются подходы к оценке ресурсов УВ в низкопроницаемых породах. По комплексу данных ГИС, керна, сейсморазведки и геохимических исследований проведено выделение в разрезе толщи пород-коллекторов с определением ФЕС, установлена изменчивость отложений свиты по площади и разрезу, в том числе за счет вторичных процессов. Предпринята попытка прогноза в разрезе нефтенасыщенной зоны по данным сейсморазведки и бурения.

Кроме баженовских отложений на территории России развиты также перспективные низкопроницаемые отложения домашиковского комплекса позднего девона. Они распространены на обширных территориях Европейской части, в Тимано-Печорском и Волго-Уральском НГБ. Это породы с низкой проницаемостью (1,5–2,0 мД), характеризуются карбонатными (известняки, мергели) и глинисто-кремнисто-карбонатными высокобитуминозными отложениями.

В России рядом исследователей во ВНИГРИ, ВНИГНИ, ИПНГ РАН проводятся исследования по созданию типовых моделей строения залежей УВ в низкопроницаемых коллекторах, критериев прогноза и оценки ресурсов нефти и газа потенциальных месторождений, их картирования и оценки экономической эффективности и экологической безопасности.

В последние 5–10 лет в США резко увеличили добычу газа, а затем и нефти, из сланцев, что позволило этой стране сделать резкий скачок и догнать в 2014–2015 гг. Россию по добыче нефти. В Америке под термином сланцевая нефть понимают нефть из горючих сланцев (shale oil) и нефть, содержащуюся в низкопроницаемых сланцах (tight oil). Для первого вида сланцев, при извлечении УВ используется низкоэффективная технология ex-situ process, а для второго (наиболее перспективного) используется технология in-situ process, когда нефть получают непосредственно из пласта.

Основные сложности добычи нефти и газа из низкопроницаемых сланцев связаны, помимо геологических аспектов (которые были указаны выше), с технологическими условиями бурения скважин и, как следствие, с экологией, безопасностью и экономическими рисками.

Сланцевая скважина состоит из вертикальной части ствола (до продуктивного пласта) и горизонтальной части длиной 1500–3000 м. Одной из важнейших составляющих улучшения технологии и повышения эффективности добычи нефти является удлинение горизонтальной части ствола скважин. Повышение ФЕС пород в скважине достигается множественными гидроразрывами пласта (в среднем от 3 до 10 в отдельных скважинах). Например, в 2016–2017 гг. для одной операции ГРП требовалось 4000 т воды и 200 т песка, в воду добавлялось до 85 видов токсичных веществ.

Скважина стоимостью 4 млн долл. в 2014 г. строилась 20–30 дней. За последние годы существенно модернизированы буровые установки и значительно увеличено их количество. Это позволило увеличить скорость бурения скважин, горизонтальную составляющую ствола скважин, увеличить на порядок количество «дыр перфорации», улучшить рецептуру водного раствора. Все это позволило существенно снизить расходы на добычу сланцевой нефти и газа в США. Добыча сланцевой нефти в США производится в трех основных регионах, на месторождениях Bakken, Eagle Ford и в бассейне Permian (около млн баррелей в день) [7, 8].

К проблемам добычи сланцевой нефти и газа, кроме вышеперечисленных, следует отнести быстрое падение первоначального дебита и коэффициента извлечения нефти и газа (до 70% в первый год), в среднем вдвое более короткий (по сравнению с традиционными) цикл работы скважин и значительные сложности при проведении поисково-разведочных работ. А также отсутствие четкого представления о модели строения пласта, типе коллектора, о характере нефтегазоносности сланцевой толщи.

На рис. 2, 3 приведены данные о строении и нефтегазоносности ряда сланцевых месторождений США. Анализируя эти материалы, можно заключить, что строение



Рис. 2 — Характеристика формации Баккен Уиллистонского бассейна США
Fig. 2 — Characteristics of the Bakken formation in the Williston basin in the USA

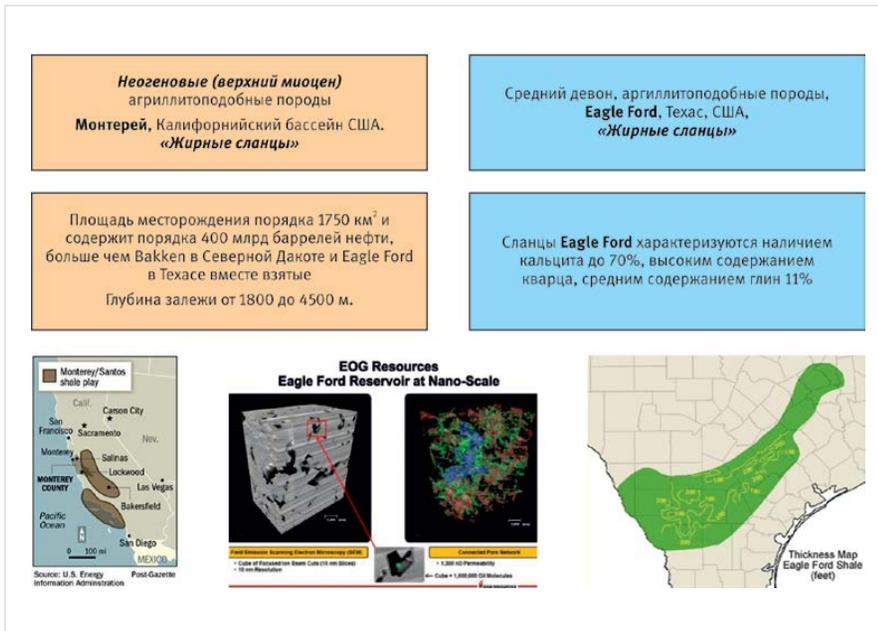


Рис. 3 — Характеристика формации Монтерей Калифорнийского бассейна США
Fig. 3 — Characteristics of the Monterey formation in the Californian basin in the USA

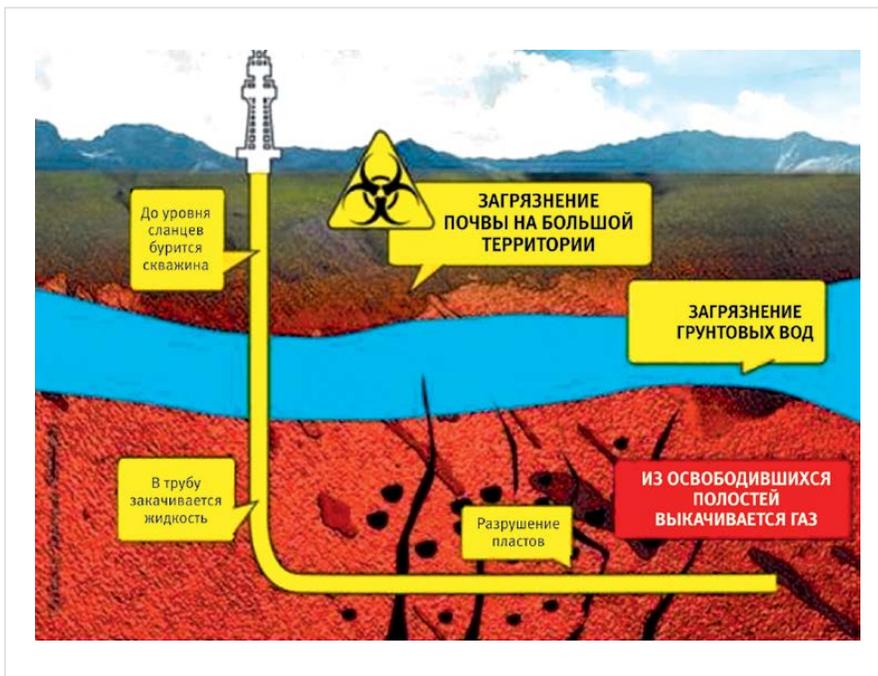


Рис. 4 — Схема горизонтального бурения и плачевные последствия сланцевой революции
Fig. 4 — Horizontal drilling chart and bad consequences of the shale revolution

Объект исследования	Концентрация микроэлементов в сланцах (по декадам), г/т						
	< 0,01	0,01–0,1	0,1–1,0	1,0–10	10–100	100–1000	>1000
Черные сланцы	Au		Hg, Re, Ag	Ge, W, Be, U, Hf, Th, Sn, Cs, Se	Sc, Nb, Co, Ga, Pb, Y, Mo, As, La, Li, Cu, Ce, B, Rb, Ni, Cr	Zr, Sr, Zn, V, Mn, Ba	Ti
Горючие сланцы	Re, Au	Ag	Hg	Ge, Mo, W, Be, U, Hf, Th, Sn, Cs	As, Se, Sc, Nb, Co, Ga, Pb, Y, La, Cu, Li, Ni, Ce, Cr, Zn	Rb, Zr, B, V, Sr, Mn, Ba	Ti

Таб. 1 — Распределение усредненных данных по содержанию МЭ в минеральном веществе сланцев
Table 1 — Distribution of the average data on the microelement content in the shale mineral substance

сланцевой толщи крайне неравномерное по ФЕС пород и нефтенасыщению. А так называемые «сладкие пятна» занимают только часть толщи, а на месторождении Eagle Ford (рис. 3) — лишь незначительную часть.

Многими производственниками и учеными отмечались значительные негативные экологические последствия разработки сланцевых месторождений и тяжелых нефтей, наносящие серьезный вред окружающей среде. Так, Т.И. Двенадцатова [9] констатирует, что в последнее время споры вокруг экологических последствий добычи сланцевого газа и его роли в будущем мировой энергетике не только не утихают, а лишь разгораются с новой силой. Автор приводит следующие риски, возникающие при бурении горизонтальных скважин и использовании ГРП: 1) рост сейсмостивности в связи с изменением структуры недр; 2) загрязнение грунтовых вод, что напрямую связано с последующим заражением питьевой воды в местах непосредственной близости от добычи; 3) загрязнение поверхностных вод и почвы; 4) выброс в атмосферу метана (рис. 4).

На фоне сравнительно высокой изученности последствий воздействия УВ на окружающую среду практически не затрагивается проблема негативного влияния микроэлементного (далее — МЭ) состава как самих сланцев, так и сланцевой нефти, при освоении сланцевых месторождений, что связано с обогащенностью нафтидов потенциально токсичными элементами (далее — ПТЭ). К таковым относят: Fe, As, Be, Cl, Co, Cr, F, Hg, Mn, Ni, Pb, Sr, Sb, Se, Tl, V, Zn, U, Th, Rn и др.

При разработке сланцевых формаций необходимо учитывать высокие содержания МЭ, концентрирующихся в них. Известно, что около 15–20% добываемого УВ сырья содержат в своем составе ПТЭ в количествах, превышающих их безопасный уровень, и объемы его добычи с годами возрастают. Наиболее миграционно подвижные и летучие из них: Hg, Cd, As и др. В числе прочно химически связанных в комплексных металлоорганических соединениях в УВ: V, Ni, Co, Cr, Cu, Zn и другие биологически инертные в природной нефти и битумах, но токсично опасные в микродисперсном состоянии после техногенного и особенно высокотемпературного (>450°C) воздействия на сырье. Актиноиды, вне зависимости от прочности связи с молекулярными структурами УВ, входят в класс активно опасных в любом состоянии. Исследования экологических последствий разработки нефтяных месторождений с повышенным содержанием токсически опасных элементов проведены С.П. Якуцени [10]. Им выполнен анализ токсикорисков и предложены основы стратегии превентивной защиты окружающей среды от негативного влияния при освоении углеводородов, обогащенных потенциально токсичными элементами. Этими элементами обогащены и сами сланцевые породы, и добываемые из них сланцевые УВ.

Тепловое воздействие на пласт, увеличение давления, закачка химических реагентов при ГРП пласта при большом количестве перфораций на протяжении длинного горизонтального участка приводит к высвобождению элементоорганических соединений, возможно летучих металлов и их выбросу в окружающую среду. Теплохимические

методы, например, метод внутрислоевого горения при выработке запасов ванадиевых нефтей не приемлемы в виду значительных потерь металлов в пласте, а также из-за возможного попадания V и Ni в вышележащие водоносные горизонты, используемые для водоснабжения населения. Подобное уже зафиксировано на участке внутрислоевого горения месторождения Каражанбас: по данным Т.В. Хисметова (1992), анализ проб пластовых вод из скважин этого участка показал наличие в них V и других МЭ. Проведенное лабораторное моделирование [4] также подтвердило факт потери нефтями МЭ при высоких температурах и перехода их в окружающую среду, либо при сорбции на породах вместе со смолисто-асфальтовыми компонентами, либо за счет разрушения металлоорганических соединений.

Повышенные концентрации МЭ в ряде черных и горючих сланцев (для некоторых элементов содержание выше 100 г/т) подтверждают детализированные усредненные данные по 36 МЭ (таб. 1).

Анализ содержания большой группы МЭ в сланцах формации Барнетт (США) указывает на высокие концентрации в них целого ряда токсичных элементов: V, Ni, Rb, Fe, Ti (рис. 5).

Достаточно четко видна большая обогащенность МЭ глинистых отложений нижнего и верхнего Барнетта, характеризующихся высоким содержанием органического вещества, по сравнению с известковистыми разностями среднего Барнетта. Концентрация основных породообразующих элементов составляет целые проценты (Fe, Ca, Si, Mg, Al, K, Ti, Sr), а содержание ряда ПТЭ приближается или превышает 100 г/т (Ni, Rb, V, Cr, Mn, Zn).

В последние годы особое внимание уделяется оценке объемов экологически опасного загрязнения окружающей среды ртутью и ее соединениями, образующимися в результате добычи сланцев, углей, нефтей и их переработки. Наибольшее число исследований по оценке поведения ртути при сжигании

твердых и жидких топлив выполнено в США по программе защиты окружающей среды [12]. Выброс ртути в атмосферу при сжигании нефтей может составить $1,0 \cdot 10^{-3}$ г/т. Исследования позволяют сделать вывод, что ртуть присутствует в нефтях в виде обладающих высокой летучестью высокодисперсных капель металлической ртути, как основной формы ее летучих соединений, диалкилов ртути, а также нелетучих сульфидов и химических соединений в асфальтенах, которые могут быть основным ее компонентом в некоторых нефтях. Выявленное обстоятельство свидетельствует о широкой распространенности ртути в природе и важности оценки ее количеств [13].

Итоги

Приведены результаты геологического строения новых нетрадиционных низкопроницаемых пород-коллекторов. Показан опыт освоения нефтегазовых ресурсов в сланцевых породах, в первую очередь, в США. Проанализированы геологические, технологические, экологические проблемы освоения нефтегазовых ресурсов в сланцах, бажениках, доманиках, в том числе и в России.

Выводы

Геологоразведочные работы по поиску нефти и газа, а в последующем и добычу УВ из нетрадиционных источников, в том числе и из низкопроницаемых пород-коллекторов, в России необходимо начинать незамедлительно. Так как начав работы сегодня, добывать нефть и газ из «сланцев» возможно будет не ранее, чем через 20–30 лет. Приоритетной задачей остается решение геологических, технологических и экологических проблем. Их решение позволит выйти на эффективное решение этой проблемы в целом. Авторы обращают внимание на важность экологической проблемы (безопасность) и высокое содержание промышленно ценных металлов в сланцевых породах и нефтях. Работа выполнена при поддержке программы Президиума РАН "Глубокие горизонты АААА01392018-09"

Литература

1. Абукова Л.А., Шустер В.Л. Перспективы развития нефтегазового комплекса России // Экспозиция нефть газ. 2016. № 7. С. 12–15.
2. Конторович А.Э., Бурштейн Л.М., Казаненков В.А., Конторович В.А и др. Баженовская свита — главный источник ресурсов нетрадиционной нефти России // Георесурсы. Геознергетика. Геополитика. 2014. № 2. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://oilgasjournal.ru/vol_10/kontorovich.html
3. Дахнова М.В., Можегова С.В., Назарова Е.С., Пайзанская И.Л. Оценка запасов «сланцевой нефти» с использованием геохимических параметров // Геология нефти и газа. 2015. № 4. С. 55–61.
4. Немова В.Д., Атяшева Е.П., Панченко И.В., Бедретдинов Р.Ю. Эффективные подходы к изучению и прогнозу нефтегазоносности отложений баженовской свиты // Геология нефти и газа. 2014. № 6. С. 36–47.
5. Прищепа О.М., Аверьянова О.Ю., Ильинский А.А., Морариу Д. Нефть и газ низкопроницаемых сланцевых толщ — резерв сырьевой базы углеводородов России. СПб.: ВНИГРИ, 2014. 323 с.
6. Киселева Н.Л., Цветков Д.Л., Цветков Л.Д. Нефтегазоматеринские сланцевые толщ мира. Ярославль: АверсПлюс, 2015. 492 с.
7. Johnson, R.C., Birdwell, J.E., Mercier, T.J., and Brownfield, M.E. Geology of tight oil and potential tight oil reservoirs in the lower part of the Green River Formation, Uinta, Piceance, and Greater Green River Basins, Utah, Colorado, and Wyoming: U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2016–5008, 63 p. <http://dx.doi.org/10.3133/sir20165008>.
8. Nemeč R. Thriving in a Major U.S. Shale Play the Bakken Unpacked // Pipeline & Gas Journal, 2016, issue 11, pp. 56–60.
9. Двенадцатова Т.И. Экологическая изнанка сланцевой революции: риски, запреты и перспективы // Нефть, Газ и Право. 2015. № 6. С. 36–46.
10. Якуцени С.П. Распространенность углеводородов, обогащенных тяжелыми элементами-примесями. Оценка экологических рисков. СПб.: Недра, 2005. 372 с.
11. Chizoba C.N. Chemostratigraphy of the Mississippian — age Barnett formation, Fort Worth basin, Wise county, Texas, USA. University of Texas at Arlington, 2013, 80 p.
12. Wilhelm S.M., Liang L., Cussen D., Kirchgessner D.A. Mercury in crude oil processed in the United States (2004) // Environmental Science and Technology, 2007, issue 41, pp. 4509–4514.
13. Shpirt M. Ya., Punanova S.A. Accumulation of Mercury in Petroleum, Coal, and Their Conversion Products // Solid Fuel Chemistry, 2011, issue 5, pp. 330–336.

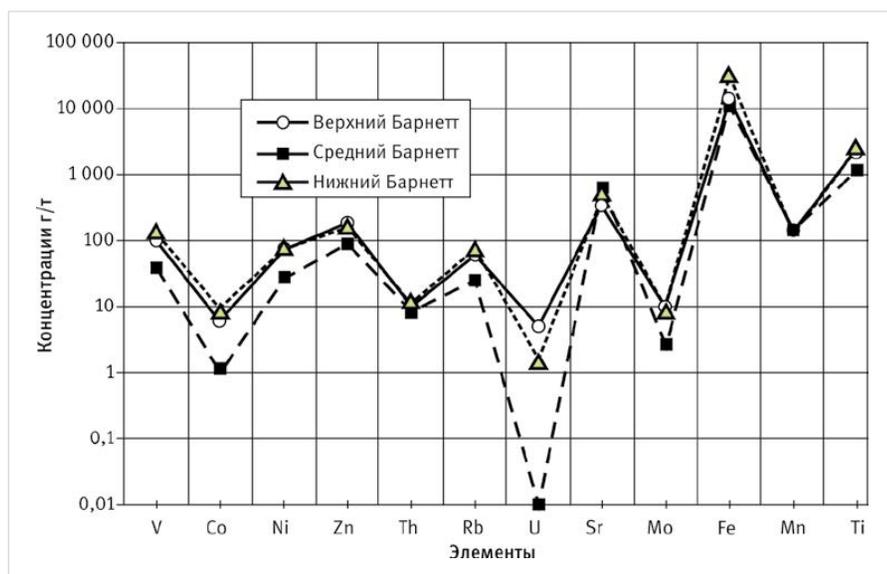


Рис. 5 — Распределение микроэлементов в сланцах формации Барнетт (С.А. Пуанова по аналитическим данным [11])
Fig. 5 — Distribution of microelements in the Barnett formation (S.A. Puananova according to the analytical data [11])

Non-traditional difficult oil and gas reserves: challenges of development and ecology

Authors:

Vladimir L. Shuster — Sc.D., professor, chief research worker^{1,2}; tshuster@mail.ru

Svetlana A. Punanova — Sc.D., chief researcher²; punanova@mail.ru

¹Oil and Gas Research Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

²Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University), Moscow, Russian Federation

Abstract

The article reviews specifics of the architecture and oil and gas content of the low permeable rocks, and experience in prospecting and development of non-traditional oil and gas resources in such rocks (shale, Domanic and Bazhenov shales).

Results

Geological framework of new non-traditional low-permeable rocks is presented. Experience of development of oil and gas resources is shown for the shale rocks, primarily in the USA. Geological, technological, environmental

challenges are analyzed in terms of the oil and gas resources development in the shale, Domanic and Bazhenov shales, including the Russian ones.

Conclusions

Oil and gas prospecting surveys require immediate commencement in Russia along with further HC production from the non-traditional sources, including from the low-permeable rocks. If the works commence today, we will be able to produce oil and gas from the shale in 20-30 years at the soonest. The top target is solving geological, technological, and

environmental problems. Solving them would allow finding an efficient solution to this problem in common.

The authors draw the attention to the importance of the environmental issue (safety), and to the high content of the metal of industrial vale in the shale rocks and oils.

Keywords

oil, gas, difficult resources, low-permeable reservoirs, formations, oil-and-gas bearing prospects, wells

References

1. Abukova L.A., Shuster V.L. *Perspektivy razvitiya neftegazovogo kompleksa Rossii* [Russian oil and gas complex development trends]. Exposition oil gas, 2016, issue 7, pp. 12–15.
2. Kontorovich A.E., Burshteyn L.M., Kazanekov V.A., Kontorovich V.A and oth. *Bazhenovskaya svita — glavnyy istochnik resursov netraditsionnoy nefti Rossii* [Bazhenov formation as a main source of non-traditional oil in Russia]. *Georesursy. Geoenergetika. Geopolitika*, 2014, issue 2. Available at: http://oilgasjournal.ru/vol_10/kontorovich.html
3. Dakhnova M.V., Mozhegova S.V., Nazarova E.S., Payzanskaya I.L. *Otsenkazapasov «slantsevoynefti» s ispol'zovaniem geokhimicheskikh parametrov* [Estimation of shale oil reserves using geochemical parameters]. Oil and Gas Geology, 2015, issue 4, pp. 55–61.
4. Nemova V.D., Atyasheva E.P., Panchenko I.V., Bedretdinov R.Yu. *Effektivnye podkhody k izucheniyu i prognozu neftegazonosnosti otlozheniy bazhenovskoy svity* [Efficient approaches to research and prediction of oil and gas occurrence in the Bazhenov formation]. Oil and Gas Geology. 2014 issue 6, pp. 36–47.
5. Prishchepa O.M., Aver'yanova O.Yu., Il'inskiy A.A., Morariu D. *Neft' i gaz nizkopronitsaemykh slantsevyykh tolshch — rezerv syr'evoy bazy uglevodorodov Rossii* [Oil and gas of the low-permeable shale formations as HC raw materials base reserve in Russia]. St. Petersburg: VNIGRI, 2014, 323 p.
6. Kiseleva N.L., Tsvetkov D.L., Tsvetkov L.D. *Neftegazomaterinskie slantsevyye tolshchi mira* [Petroleum bearing shale rocks in the world]. Yaroslavl: *Avers Plyus*, 2015, 492 p.
7. Johnson, R.C., Birdwell, J.E., Mercier, T.J., and Brownfield, M.E. Geology of tight oil and potential tight oil reservoirs in the lower part of the Green River Formation, Uinta, Piceance, and Greater Green River Basins, Utah, Colorado, and Wyoming: U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2016–5008, 63 p. <http://dx.doi.org/10.3133/sir20165008>.
8. Nemeč R. Thriving in a Major U.S. Shale Play the Bakken Unpacked // *Pipeline & Gas Journal*, 2016, issue 11, pp. 56–60.
9. Dvenadtsatova T.I. *Ekologicheskaya iznanka slantsevoy revolyutsii: riski, zapretyiperspektivy* [Environmental seamy side of the shale revolution: risks, limitations and trends]. Oil, Gas and Law, 2015, issue 6, pp. 36–46.
10. Yakutseni S.P. *Rasprostranennost' uglevodorodov, obogashchennykh tyazhelymi elementami-primesyami. Otsenka ekologicheskikh riskov* [Abundance of the HC enriched with heavy element inclusions. Environmental risk evaluation]. St. Petersburg: *Nedra*, 2005, 372 p.
11. Chizoba C.N. Chemostratigraphy of the Mississippian — age Barnett formation, Fort Worth basin, Wise county, Texas, USA. University of Texas at Arlington, 2013, 80 p.
12. Wilhelm S.M., Liang L., Cussen D., Kirchgessner D.A. Mercury in crude oil processed in the United States (2004) // *Environmental Science and Technology*, 2007, issue 41, pp. 4509–4514.
13. Shpirt M. Ya., Punanova S.A. Accumulation of Mercury in Petroleum, Coal, and Their Conversion Products // *Solid Fuel Chemistry*, 2011, issue 5, pp. 330–336.

СЕМИНАР-КОНФЕРЕНЦИЯ

04–08 июня 2018

«Инновационные решения в области КРС, ПНП, ГНКТ, внутрискважинные работы и супервайзинг в горизонтальных и разветвленных скважинах»

+7 (3452) 534 009

togc@bk.ru

in_tech@bk.ru

WWW.TOGC.INFO



Инновационные
Технологии

ЭКСПОЗИЦИЯ
НЕФТЬ ГАЗ

Генеральный информационный партнер

