

А. Е. Лукин

СЛАНЦЕВЫЙ ГАЗ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕГО ДОБЫЧИ В УКРАИНЕ**Статья 1. Современное состояние проблемы сланцевого газа (в свете опыта освоения его ресурсов в США)**

У 2008 р. в США, несподівано для міжнародних експертів, стрімко (на 7,5%, або 41,7 млрд м³) збільшився видобуток природного газу. В 2009 р. ця тенденція збереглася (подальше зростання видобутку на 4,5% порівняно з минулим роком), внаслідок чого США випередили Росію за загальним обсягом видобутку "блакитного палива" (відповідно 620 і 583 млрд м³). Згодом виявилось, що цей визначний в глобально-економічному та геополітичному відношенні факт пов'язаний з освоєнням ресурсів так званого сланцевого газу, тобто природного газу в різновікових чорносланцевих (black shales) формаціях. Величезні запаси газоносних сланців (осадових пелітоморфних порід з підвищеним вмістом органічної речовини) в Північній Америці, потужний економічний потенціал, передова технологія буріння та великий досвід освоєння нетрадиційних джерел газу (центральнобасейновий газ, вугільний метан, сланцевий газ), високорозвинена інфраструктура, близькість газоносних сланцевих зон до районів використання газу, фінансова підтримка з боку держави (пільгове оподаткування газовидобування з нетрадиційних джерел) — все це робить розробку сланцевого газу рентабельною і створює сприятливі умови подальшого збільшення його ролі в структурі північноамериканського паливно-енергетичного комплексу. Прогнозні ресурси сланцевого газу Північної Америки, що в США, на відміну від інших країн, вже отримали достатньо достовірну оцінку, становлять понад 1500 трлн м³. Тому цілком обґрунтовані розрахунки, згідно з якими в 2010 р. в США буде видобуто 51 млрд м³ сланцевого газу (близько 10% від загального видобутку природного газу). Планується, що к 2015 р. обсяг видобутку сланцевого газу сягатиме 180 млрд м³, а к 2020 р. — понад 220 млрд м³ (половина річного видобутку природного газу). Досвід США в освоєнні сланцевого газу має безсумнівно величезне значення для глобальної енергетичної стратегії. Проте інші країни при вирішенні цієї проблеми мають зіткнутися з великими економічними, технологічними та екологічними труднощами.

USA natural gas production in 2008 increased abruptly (by 7,5% or 41,7 billions m³). This phenomenon has become unexpected for world hydrocarbons resources experts. In 2009 this tendency has been preserved (further rise of natural gas production by 4,5% as compared with previous year) with the result that USA has become ahead of Russia by total volume of natural gas extraction (respectively 620 and 583 billions m³). In due course it was brought to light that this outstanding fact of great world-economic and geopolitic importance is connected with development of the resources of shale gas, as it is called. That is to say, the type of natural gas dispersed and occluded in black shales. Tremendous resources of gasiferous black shales (sedimentary pelitomorphous rocks with heightened content of organic matter) in North America, powerful economic potential, advanced drilling technology and pool of experience of gas extraction of nontraditional (central-basin, coal-bed and black shale) gas, highly developed infrastructure, the proximity of gasiferous black shales areas to the regions of gas consumption, the financial backing of the government (preferential taxation of non-traditional natural gas production) — taking together all these factors make profitable development of shale gas and are of great aid in growing of its importance in North-American fuel-energetic complexes. Contrary to other countries the shale gas resources of USA have been reliably evaluated. They are above 1500 trillions m³. So all forecasts for USA gas production hold certain validity. According to these calculations it will be extracted 51 billions m³ (about 10% of the total natural gas production) of shale gas in USA in 2010. It is expected that shale gas production will reach 180 billions m³ in 2015 and above 220 billions m³ (half of total annual production) to 2020. The american experience in shale gas development are of unquestionable importance for global energetic strategy. However other countries will face economic, technologic and ecologic problem inevitably in development of shale gas.

Введение

В 2008 г. в США, неожиданно для международных экспертов, резко (на 7,5%, или 41,7

млрд м³) возросла добыча природного газа. На сайте "Нефть России" еще 25.08.08 г. появилось сообщение: "Производство природного газа в США возрастает в темпе, невиданном за десятилетия, снижая цены на топливо и опровергая первоначальные ут-

© А. Е. Лукин, 2010

верждения о том, что американские газовые месторождения необратимо истощились" (New York Times, 25.08.08 г.).

К концу 2008 г. выяснилось, что столь впечатляющий прорыв связан с "взрывообразным" освоением ресурсов так называемого сланцевого газа (СГ) на месторождении Барнет (Barnett) [30], а также некоторых других месторождениях, представляющих собой обширные газоносно-сланцевые ареалы. Следует отметить, что в США, по сравнению с другими странами, на протяжении последних 20 лет неуклонно возрастала роль таких нетрадиционных источников газа, как угольный метан и центральнобассейновый газ, однако революционный скачок в их газовой промышленности в 2008—2009 гг. произошел именно в связи с освоением ресурсов СГ. Впрочем, следует подчеркнуть известную промыслово-геологическую и технологическую общность всех этих видов природного газового сырья, связанного с низкопроницаемыми (тугими, плотными) коллекторами (*"gas of tight reservoirs"*). Появление эффективных технологий освоения указанных нетрадиционных типов природного газа и прежде всего СГ означает существенное изменение конъюнктуры на газовом рынке. Высокие мировые цены на газ, которые прежде всего определяются приуроченностью основных *"газовых полюсов"* земного шара к отдаленным от основных потребителей районам с экстремальными физико-географическими условиями (север Сибири и Арктика, Персидский залив, Карибское море), делают рентабельной добычу газа из нетрадиционных источников в странах с достаточно мощным экономическим и технологическим потенциалом. Пока только США может бурить тысячи специальных (наклонных, горизонтальных) скважин. В остальных странах, включая Евросоюз, возможности освоения СГ пока несопоставимы с США, хотя, помимо Северо-Американского континента, велики перспективы его добычи в Китае, Индии, Австралии, Бразилии, Марокко и ряде европейских стран (Польша, Германия, Швеция, Англия, Австрия, Венгрия, Украина и др.).

В 2009 г. отмеченная тенденция в газодобывающей промышленности США сохранилась (дальнейшее возрастание добычи на

4,5% по сравнению с 2008 г.), в результате чего они впервые за последние 10 лет обогнали Россию по общему объему добычи природного газа (соответственно 620 и 583 млрд м³). Если учесть, что США до сих пор оставались нетто-импортером, а Россия — крупнейшим мировым экспортером газа, то этот факт действительно приобретает значение важного не только глобально-экономического, но геополитического события. Его последствия проявляются уже сейчас, когда европейский газовый рынок начал завоевывать предназначенный для США сжиженный газ из Катара, гораздо более дешевый, чем российский [23, 34]. Поэтому неудивительно, что ряд ведущих экспертов по энергетике и газодобывающей промышленности оценили эти события как революционные, имеющие весьма важные глобально-экономические и геополитические последствия. Так, президент американской энергетической компании "Меркатор" Дж. Харрол заявил, что *"трудно в полной мере оценить историческое значение резкого увеличения объемов добычи СГ, который дает больше свободы, чем себе кто-то сейчас может представить"* [11].

Достаточно серьезно оценили возможности добычи СГ российские эксперты (председатель Комитета Госдумы Российской Федерации по энергетике Ю. А. Липатов, замдиректора ВНИИ "Зарубежгеология" В. И. Высоцкий и др.). 25 марта 2010 г. перспективы добычи СГ и ее возможные геополитические и глобально-экономические последствия стали темой обсуждения на специальном заседании Комитета по энергетике Госдумы РФ [17]. В результате этого обсуждения (в рамках Круглого стола), несмотря на дискуссионность проблемы и несомненное влияние субъективно-политических причин (антагонизм интересов стран-экспортеров и стран-импортеров газа, конкуренция между крупными нефтегазодобывающими компаниями и т. п.), участники *"энергетического Круглого стола"* (Круглый стол "Перспективы освоения ресурсов сланцевого газа", 25.03.2010) констатировали, что добыча СГ производится только в США, а также в Канаде. В США ее доля в общей по стране добыче природного газа в 2009 г. составила 11,36%. Согласно прогнозам Департамента США,

добыча СГ в стране будет возрастать до 2035 г. со среднегодовым приростом 5,3%, в то время как импорт газа будет снижаться на 2,6% в год. Более того, было отмечено, что *"развитие газосланцевой индустрии может привести к снижению импорта газа в основных газопотребляющих странах Мира (Европа, Китай, США), к приостановке или отмене ряда крупных проектов по строительству заводов по производству сжиженного газа и, соответственно, регазификационных терминалов трансконтинентальных газопроводов и к изменению механизмов ценообразования на газ на мировом рынке"* [17].

Закономерным следствием этих событий явилось возникновение газосланцевого бума. СМИ (включая Интернет) переполнены сообщениями с красноречивыми заголовками: *"Великая сланцевая революция", "США опять добывают больше всех газа в мире за счет сланцевого газа", "США обогнало РФ по добыче газа", "Альтернативный газ добьет Газпром", "Крах Штокмана (сланцевый газ идет)", "Сланцевый газ против Газпрома", "Сланцевый газ: революция, которая изменит газовую геополитику", "Буровой бум в США возрождает надежды на природный газ"* и т. д. и т. п. [1, 3—6, 8, 9, 20, 24, 27, 33, 34, 35].

В начале 2010 г. ажиотаж вокруг СГ охватил и Европу. На территории Германии, Голландии, Польши, Венгрии, Украины и других стран, как известно, сосредоточены разновозрастные (ордовик, силур, девон, нижний карбон, пермь, юра, олигоцен) черносланцевые формации, с которыми могут быть связаны огромные (по некоторым неофициальным оценкам десятки трлн м³) ресурсы газа. В частности, британская газета *"The times"* со ссылкой на новые данные Wood Mackenzie опубликовала сообщение о том, что в Польше выявлены крупные (около 1,36 трлн м³) запасы СГ, в связи с чем она сможет снизить импорт газа на 70%.

Впрочем, в СМИ появляются и более осторожные, а нередко и скептические оценки перспектив СГ (*"Сланцевый газ: плюсы и минусы?"*, *"Крупнейшее месторождение сланцевого газа Marcellus: чудо или миф?"*, *"Экологические последствия добычи сланцевого газа"* и т. д.) [10, 18, 19, 28]. Иногда встречаются и безапелляционно-негативные оценки перспектив добычи СГ (*"Оче-*

редная заказушка про сланцевый газ", *"Сланцевый пшик?"* и т. п.) [14, 21]. По-видимому, как чересчур восторженные, так и пренебрежительные высказывания по поводу СГ имеют субъективный характер. Автором сделана попытка охарактеризовать основные, преимущественно геологические, аспекты данной проблемы и дать, по возможности, объективную оценку перспектив освоения ресурсов СГ в Украине.

Основные понятия и термины

В публикациях по данной проблеме сплошь и рядом используются не вполне корректные (вплоть до сленга) определения. Поэтому целесообразно выяснить значение основных понятий и терминов, связанных с СГ.

Прежде всего следует начать с самого термина СГ. В нем изначально заложена двусмысленность, поскольку *"сланцевым газом"* и *"сланцевой нефтью (маслом)"* свыше 200 лет называются продукты перегонки горючих сланцев. Учитывая высокую энергоемкость получения из них синтетического горючего газа и нерентабельность его производства в значительных масштабах при современном уровне газовой добычи, принципиально важно подчеркнуть, что в данном случае речь идет об определенном **типе природного газа**.

Тип природного газа определяется конкретной природной газовой системой [22] и характером ее самопроизвольной (спонтанной) или принудительной дегазации при естественных (различные формы тектогенеза) или техногенных (бурение скважин, проходка различных горных выработок, подземные взрывы и т. п.) процессах. В отличие от традиционных скоплений (залежей) природного газа, образующих в коллекторе (резервуаре) сплошную фазу, СГ, наряду с центральнобассейновым газом и угольным метаном, относится к дисперсным газам горных пород. Дискретная газовая фаза приурочена к закрытым порам (кавернам, трещинам) и взаимосвязана с газом, сорбированным и окклюдированным минеральным и органическим веществом. Таким образом, речь идет о сложной системе, общая газовая емкость которой намного больше, чем общая пористость.

В отличие от центральнобассейнового газа, связанного преимущественно с терриген-

но-обломочными фанероморфными (песчаники, алевролиты и т. п.) породами, первичные фильтрационно-емкостные свойства которых редуцированы вследствие катагенеза, СГ приурочены к изначально малопроницаемым пелитоморфным породам (рис. 1). Из-за малых размеров поровых каналов (10 мкм — 1 мкм и меньше) матричная проницаемость их изначально весьма низка (менее 0,1 фм²), хотя и варьирует в широких пределах. Что же касается общей пористости, то она зависит от интенсивности литификации (карбонатизация, окремнение, компрессионное уплотнение). Для глинистых отложений с незначительным содержанием карбонатов и минералов свободного SiO₂ общая пористость контролируется преимущественно степенью катагенетического уплотнения. Для чистых глин (диагенез — протокатагенез) она находится в пределах 20—40%, для уплотненных глин (МК₁) снижается до 10—15%, для аргиллитоподобных глин (МК₂) — 2—10%, для аргиллитов (МК₃—МК₄) — 3—5%, для аспидных сланцев и филлитов (апокатагенез — метагенез) — менее 3%. При содержании в глине органического вещества свыше 1-2% (в зависимости от его природы) динамика изменения пористости при катагенетическом уплотнении существенно меняется, что определяется интенсивностью газогенерации.

Для успешного освоения ресурсов СГ, начиная от прогноза его месторождений и



Рис. 1. Черносланцевая формация Вудфорд (Миссисипий) в обнажении [32]

заканчивая разработкой, необходимы прежде всего четкие представления о природе самого газоносного субстрата — сланца. К сожалению, это весьма неопределенный и неоднозначный термин.

Сланцем издавна называется порода с параллельной ориентировкой минеральных частиц, которая может быть обусловлена: 1) сугубо седиментационными факторами (осаждение глинистых минералов, растительного детрита и т. п.); 2) сжимающими тангенциальными параллельными (относительно кровли и подошвы пластов) напряжениями при складкообразовании (кливаж осадочных пород на фоне разных стадий литогенеза) и процессами динамометаморфизма (одностороннее напряжение или стресс на фоне метагенеза и регионального метаморфизма — милониты, катаклазиты); 3) давлением нагрузки при региональном метаморфизме (зеленосланцевая, эпидот-амфиболитовая и другие фации). Таким образом, сланцеватость может быть обусловлена как в различной степени выраженной тонко- и микрослоистостью, так и иметь наложенный по отношению к первичным текстурным элементам характер. СГ связан с осадочными породами, сланцеватость которых выражена в различной степени и обусловлена в основном литогенетическими факторами. Применительно к проблеме СГ четкая граница между

сланцами и обогащенными органикой глинами, аргиллитами, мергелями, силицитами отсутствует. Повышенная газоносность может быть связана и со скрытослоистыми породами. Однако наиболее благоприятны для освоения СГ породы с выраженной тонкой (микро) слоистостью и сланцеватостью, поскольку газонасыщенность таких пород значительно больше, а плотность техногенных (естественно-техногенных) трещин намного выше по сравнению с толстослоистыми или массивными литомами.

В более узкой трактовке сланцами называются метаморфические породы, харак-

теризующиеся (суб)параллельной ориентировкой входящих в них вытянутых и пластинчатых минералов и обладающие вследствие этого сланцеватостью — способностью раскалываться на тонкие пластинки. По степени метаморфизма они образуют ряд: глинистые и аспидные сланцы, филлиты (метагез) — хлоритовые, слюдяные и зеленые сланцы (зеленосланцевая стадия регионального метаморфизма) — кристаллические сланцы (амфиболитовая и более высокая стадии регионального метаморфизма). К СГ эти породы, которым в англоязычной литературе соответствует термин *"schist"* [25, т. 3, с. 111], не имеют отношения. Даже у глинистых и аспидных сланцев степень метаморфизма глини слишком велика для сохранения газообразных углеводородов (УВ). Их общее газосодержание незначительно, а в составе газов закрытых пор (пористость существенно ниже, чем в осадочных глинистых породах) преобладают CO_2 , N_2 , H_2S .

Не проясняет, а еще более усугубляет терминологическую путаницу известный *"Толковый словарь английских геологических терминов"*, в котором *"black shale — черные сланцы"* характеризуются [25, т. 1, с. 176] как *"темные, обычно очень тонкослоистые углистые (! — А. Л.) сланцы, исключительно богатые органическим веществом (содержание углерода достигает 5% и более) и сульфидами (особенно FeS_2), обычно пиритом"*. Причем в качестве синонима *"black shale"* указан термин *"biopelite"*, хотя далеко не все черные сланцы (ЧС) содержат биогенное органическое вещество (ОВ). Здесь же дан совершенно другой, гораздо более узкий вариант трактовки термина *black shale*: *"тонкослоистые углистые сланцы, часто встречающиеся в кровле угольной залежи"* (син. *black metal*) [25, т. 1, с. 176]. Если к этому добавить определение *"black shale"* как *"черных сланцев с высоким содержанием угля"* и *"нечистый кеннельский уголь"* [25, т. 1, с. 176], то однозначное понимание и правильное употребление терминологии, имеющей отношение к интересующей нас проблеме, еще более осложняется.

Дополнительным источником терминологических затруднений является неоднозначная трактовка понятий *"горючий сланец"* и *"нефтяной сланец"*. В англоязычной литературе широко употребляется термин *"oil*

shale", который обычно переводится как *"нефтяной сланец"* [7]. При таком переводе создается впечатление, что речь идет о сланце-коллекторе нефти (типа баженита, монтереита и т. п.). Однако речь идет о *"сланцевом масле"* — синтетической нефти (смеси жидких УВ), получаемой, наряду с синтетическими газообразными УВ, при дистилляции (сухой перегонке) керогена (синонимом *"oil shale"* в англоязычной литературе является *"kerogen shale"* [7, 25, т. 2]). К *"oil shale"*, таким образом, относятся и горючие сланцы, и битуминозные сланцы, и вообще все пелитоморфные слабопроницаемые породы, содержащие ОВ в таком количестве и такого качества, что при их дистилляции образуются жидкие и (или) газообразные УВ. Такие породы достаточно разнообразны по окраске, структурно-текстурным особенностям, разнообразным литолого-фациальным признакам, составу минерального (неорганического) и органического вещества. Перевод с английского названия известной монографии *"Oil shales"* как *"Горючие сланцы"* [7] является некорректным, поскольку далеко не все эти породы являются "горючими", т. е. могут непосредственно использоваться как топливо.

СГ связаны с сугубо осадочными, в той или иной мере обогащенными ОВ глинистыми и карбонатно-глинистыми породами, степень катагенеза которых не превышает градаций MK_4 — AK_1 , а обычно составляет PK — MK_3 . Для обозначения их в англоязычной геологической литературе используется термин *"black shales"*, русский эквивалент которого — *"черные сланцы"*, как отмечалось, не вполне удачен. Из-за указанной двойственности термина *"сланец"*, к ЧС, наряду с осадочными, относятся разнообразные метаморфические породы от аспидных до графитсодержащих кристаллических сланцев. В англоязычной литературе, как отмечалось, для их обозначения используется специальный термин *"(black) schist"*. А нам, отечественным исследователям, приходится относить к ЧС не только водноосадочные пелитоморфные породы, обогащенные УВ-генерирующим ОВ, но и указанные метаморфические породы, а также эндогенные углеродистые метасоматиты, зачастую неотличимые от (мета)осадочных пород. Таким образом, необходимо различать осадочные,

метаморфические и метасоматические ЧС. Наиболее полное определение собственно осадочных ЧС принадлежит Я. Э. Юдовичу [29, с. 10]: *"черные сланцы — это водноосадочные горные породы, обычно темные, пелитоморфные и сланцеватые, обогащенные сингенетичным органическим веществом преимущественно аквагенного и отчасти терригенного типов"*.

Таким образом, возникает некий терминологический парадокс, поскольку к ЧС, наряду с темными глинистыми, обогащенными ОВ породами, должны быть отнесены, с одной стороны, породы, лишенные темной окраски и (или) сланцеватости, а с другой, — далеко не всегда, глины. В качестве примера можно привести употребление термина *"доманикиты"*, который часто используется как синоним ЧС. Согласно [22, с. 168], это *"тонкозернистые, часто тонкоплитчатые осадочные горные породы черного, реже бурого цвета, обогащенные сапропелевым ОВ"*, содержание собственно глинистого вещества в которых не превышает 30%. Нередко оно вообще отсутствует. Так, девонский доманик Ухты и Поволжья местами полностью состоит из SiO_2 , ОВ и карбонатного вещества с повышенным содержанием дисперсного дисульфида железа. Между тем, *"в литературе доманикиты часто ошибочно именуется битуминозными глинами, аргиллитами или черными сланцами"* [22, с. 168].

В свое время Н. Б. Вассоевич для преодоления сходных затруднений при выделении генетических типов ископаемого ОВ предложил именовать их *"кахитами"* (аббревиатура из слов *"carbon"* и *"hydrogen"*), а ОВ осадочных пород — *"седикахитами"* [22]. Таким образом, интересующая нас группа ЧС представляет собой осадочные породы с повышенным содержанием седикахитов. В целом же, учитывая природу и химический состав осадочного ОВ, его УВ-генерирующую роль, как уже отмечалось автором [13], их целесообразно именовать **гидрокарбопелитами** (соответственно и СГ правильнее называть **гидрокарбопелитовым газом**). В отличие от термина ЧС, здесь акцентируется внимание не на облике пород, а на их составе и текстурно-структурных особенностях. Это несомненное преимущество, поскольку, как уже отмечалось, ЧС далеко не

всегда черные (среди них есть серые, коричневые, оливковые и даже желтые, *"как, например, наш кукерсит"* [29, с. 11]), и далеко не всегда явно сланцеватые породы. Минеральное вещество гидрокарбопелитов (осадочных ЧС) может быть представлено не только глинистым, но также карбонатным, кремнеземным, (ди)сульфидным, фосфатным веществом.

Вполне приемлем также термин *"кахитолит"*. Правда, он был предложен Я. Э. Юдовичем [29] как производное упоминавшегося термина *"кахит"* для обозначения только высокоуглеродистых ($C_{\text{орг.}} > 15\%$) ЧС, и, таким образом, наиболее перспективные с точки зрения СГ (каолинит-гидрослюдистые и другие глинистые породы без повышенного содержания смектитовых фаз, с концентрациями $C_{\text{орг.}} 1—5\%$) в эту категорию ЧС не попадают. Сам же этот термин семантически вполне удачен.

Однако в последующем изложении автор вынужден пользоваться термином ЧС, поскольку последний дистанцировался от своего буквального значения и широко употребляется (как и *"black shale"* в англоязычной литературе).

Основные литологические особенности газоносных ЧС

Главным критерием отличия газоносных сланцев от обычных осадочных пелитоморфных пород является содержание ОВ. Если, вслед за [29], к ЧС относить породы с концентрациями $C_{\text{орг.}}$ выше субкларков, то в эту группу войдут не только горючие сланцы (субкларки $C_{\text{орг.}} 16,5\%$), доманикиты, бажениты, менилиты и т. п., но и все пелитоморфные породы с содержанием $C_{\text{орг.}}$ выше 1%. При этом целесообразно различать [29, с. 13] низкоуглеродистые (1—3%), углеродистые (3—10%), высокоуглеродистые ЧС. Эти градации, природа ОВ, его взаимоотношение с минеральными компонентами и формы локализации имеют особое значение для выделения потенциально газоносных черносланцевых (гидрокарбопелитовых) формаций.

Известные в настоящее время промышленные коллекторы СГ на успешно разрабатываемых северо-американских месторождениях (см. ниже) представлены разнообразно

окрашенными (преимущественно темноцветными, но также серо-коричневыми, желто-коричневыми и др.) существенно глинистыми (30—70%) породами с переменным содержанием ОВ (0,6—8,5%), карбонатов (0—30%), SiO₂ (0—5%), FeS₂ (0,1—10%) и других компонентов.

Большой углеводородный потенциал ЧС, в частности, наиболее обогащенных сапропелевым ОВ их разностей — горючих сланцев, известен давно. Первый патент на получение из них путем сухой перегонки масла, смолы и дегтя был выдан правительством Англии в 1694 г. [7]. Достаточно давно было известно и о самопроизвольном выделении горючего газа из ЧС в различных горных выработках. Именно в миссисипских черносланцевых толщах Предаппалачского прогиба 150—180 лет назад бурились первые поисковые скважины на нефть с многочисленными газопроявлениями.

Однако нельзя не отметить кардинальные различия в истории промышленной утилизации синтетического УВ сырья из сланцев и природного СГ.

Использование синтетического газа и моторного топлива из твердого топлива и, в частности, горючих сланцев быстрыми темпами нарастало в первой половине XX в. в ряде стран. Однако после открытия некоторых нефтяных и газовых гигантских месторождений и по мере увеличения объема добычи природных УВ в 60—70-е годы их производство становилось нерентабельным. Показательна в этом отношении история газопровода Кохтла-Ярве — Ленинград. *"В 1948 г. по первому газопроводу сланцевый газ из комбината в эстонском городе Кохтла-Ярве пришел в северную столицу. За первый год эксплуатации газопровода Кохтла-Ярве — Ленинград объем поставок составил 73,2 млн м³ сланцевого (синтетического. — А. Л.) газа. Этот газопровод служит до сих пор, только нынче российский природный газ по нему течет в обратном направлении — в Эстонию" (газета "Санкт-Петербургские ведомости", № 158 (4441), 26.08.2009) [11].*

Что касается природного СГ, то, несмотря на давно известные и постоянно наблюдаемые газопроявления в разновозрастных ЧС различных нефтегазоносных, горючесланцевых и угольных бассейнов, эта проб-

лема не привлекала внимания вплоть до конца XX ст. Более того, для мирового сообщества газосланцевый бум 2008—2010 гг., как отмечалось, стал полной неожиданностью. Тем не менее соответствующим специалистам уже давно (по крайней мере, 50 лет* назад) стало ясно, что при достаточно высоком уровне развития известных технологий (искусственный гидроразрыв, гидрореспектоструйная перфорация, наклонное и горизонтальное бурение) можно извлекать газ плотных низкопроницаемых коллекторов, включая и ЧС.

Месторождения СГ Северной Америки и результаты их разработки

Пионером освоения СГ (как и ряда других ключевых направлений геологоразведочных работ, включая открытие промышленной нефтегазоносности на больших глубинах, поиски залежей в неантиклинальных ловушках, добыча центральнобассейнового газа и угольного метана) стали США. Помимо необходимого для решения данной проблемы мощного экономического и технического потенциала, этому способствовали и особенности истории осадконакопления на Северо-Американском континенте. Вследствие своеобразия тектоно-геодинамических и палеогеографических условий здесь образовались огромные объемы черносланцевых формаций, залегающих на сравнительно небольших глубинах в пределах 42 штатов из 50. С ними связаны многочисленные ареалы развития газоносных ЧС (рис. 2), которые рассматриваются американскими исследователями как плеи — группировки месторождений СГ со сходными условиями его разработки [32], хотя фактически это единые (мега)месторождения. По многим из них дана оценка прогнозных ресурсов СГ, а девять из них успешно разрабатываются (см. таблицу), что и обеспечило внезапное увеличение в 2008 г. добычи газа в США на 7,5% (это 41,7 млрд м³, что превышает половину годового потребления газа Украиной). Более того, в кризисном 2009 г. именно благодаря нет-

* Теория и практика искусственного гидроразрыва пласта были разработаны в 1950-х годах (С. А. Христианович, Г. И. Баренблатт, Ю. П. Желтов и др.).

Месторождения СГ Северной Америки, которые находятся в разработке (составлено по данным [32])

Месторождения, возраст газоносной ЧС формации	Суточная добыча, млн м³	Планируемая годовая добыча, млрд м³
Барнет (Barnett), миссисипий	136	50
Вудфорд (Woodford), девон — миссисипий	14	5
Фаеттвил (Fayetteville), верхний пенсильваний	37	13,5
Хейнесвил (Haynesville), верхняя юра	14	5
Энтрим (Antrim), средний девон	10	3,6
Марцеллус (Marcellus), средний девон	5,7	2
Нижний Гурон (Lower Huron), средний девон	5,7	2
Хорн Ривер (Horn River), средний девон	2,8	1
Монтней (Montney), нижний триас	10,6	4
Суммарно	235,8	86,1

радиционным источникам газа (СГ, а также центральнобассейновый газ, угольный метан) США сохранили за собой мировое первенство по добыче газа и опередили РФ (в России добыча газа снизилась на 12,3% — до 583 млрд м³, а в США возросла на 3,2% — до 620 млрд м³). Приведенные данные свидетельствуют о том, что СГ черносланцевых формаций, прежде всего девона и миссисипия (такие гиганты, как Барнет, Марцеллус и др.), играют роль колоссального "газового буфера", который может обеспечить этот колоссальный уровень добычи на протяжении многих лет.

Особенности географического распределения газоносных ЧС обеспечивают близость месторождений к районам потребления. Наряду с огромными ресурсами, небольшими и умеренными глубинами залегания и эффективной технологией освоения, это обеспечивает высокую рентабельность добычи газа по сравнению с экстремальными условиями разработки российских газовых гигантов арктического шельфа, Ямала, Восточной Сибири и огромными расстояниями транспортировки их газа.

Успехи США (а также Канады) в освоении ресурсов СГ обусловлены не только более высоким, чем в других странах, экономическим и технологическим уровнем нефтегазодобывающей промышленности, но и уже упоминавшимися особенностями геологии Северо-Американского континента [2, 15], осадочные бассейны которого характеризуются широким распространением разновозрастных (прежде всего девонских и карбоновых) black shales, которые в ряде районов

залегают на небольших (до 0,5—1 км) и (или) средних (до 2—2,5 км) глубинах. Поэтому еще на заре нефтедобывающей промышленности и нефтегазопромысловой геологии, когда еще не сформировалось представление о коллекторе (резервуаре), а существовало понятие о "нефтяной жиле", из этих сланцевых толщ неоднократно получали притоки нефти и (или) горючего газа. Первая промышленная (commercial) газовая скважина была пробурена в Предаппалачском прогибе (Фредония, штат Нью-Йорк) еще в 1821 г. Вильгельмом Хартом, которого в США называют "отцом природного газа" [16]. Первоначально именно залегающие на небольших глубинах (вплоть до выхода на поверхность) трещиноватые black shales (рис. 1) рассматривались как источник природного УВ сырья, и в них бурились первые нефтяные скважины. Однако после того, как в этом же самом старом нефтегазодобывающем регионе США в 1859 г. в скважине, пробуренной полковником Дрейком в районе Оил-Крик, был получен мощный нефтяной фонтан из карбонового (пенсильваний) песчаника, а затем высокодебитные притоки из песчаных и карбонатных коллекторов в Оклахоме, Техасе, Калифорнии, интерес нефтепромышленников к СГ пропал полностью и надолго, хотя интенсивные геолого-геофизические исследования позволили выделить и закартировать в пределах североамериканских нефтегазоносных провинций ряд разновозрастных черносланцевых формаций.

В пределах Северо-Американской плиты по поверхности докембрийского фундамен-

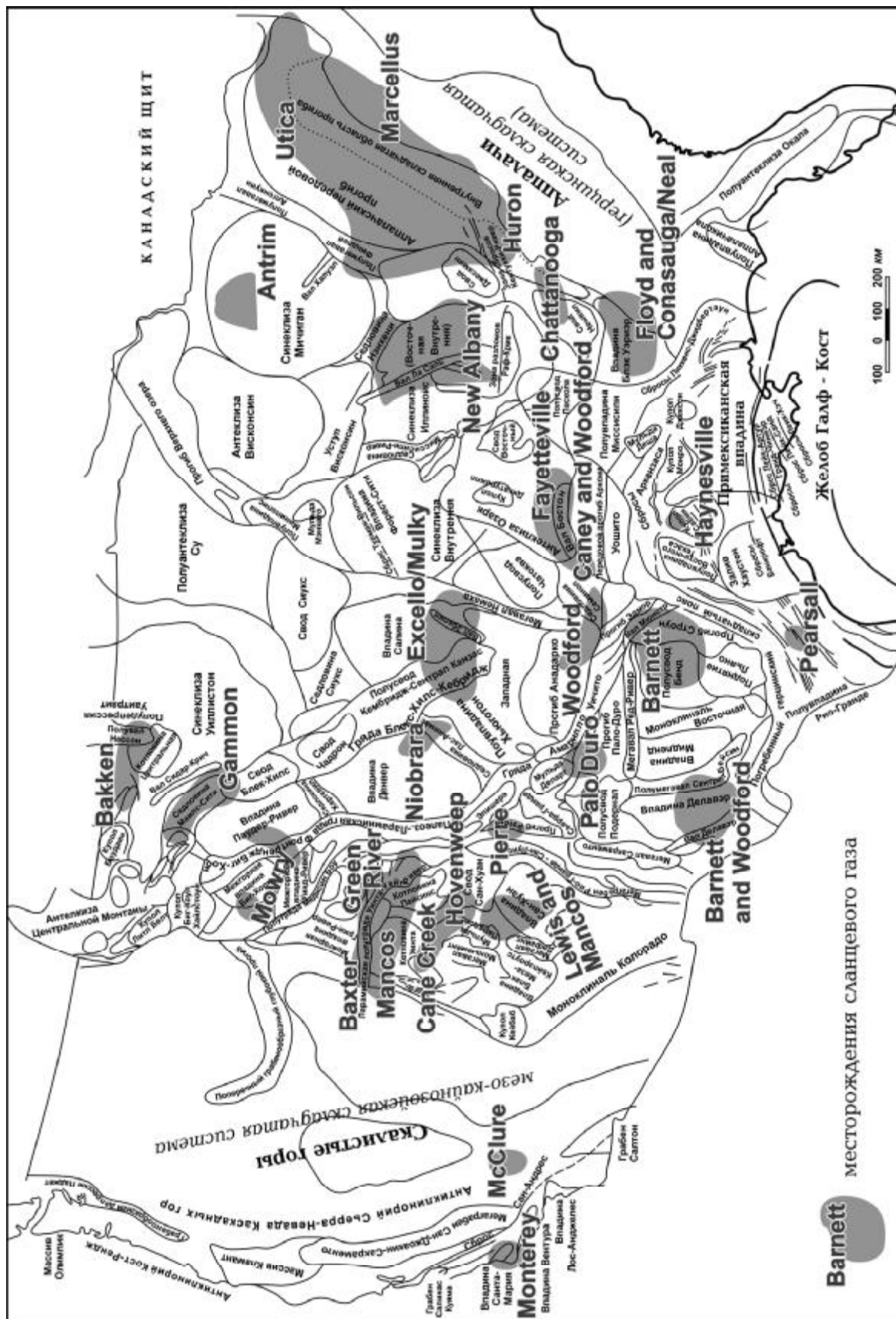


Рис. 2. Географическое размещение месторождений сланцевого газа США [32] и их позиция (по А. Е. Лукину) на тектонической схеме (по В. Д. Наливкину и др.).

та выделяются (рис. 2) впадины (депрессии, прогибы) и поднятия (своды, выступы, "гранитные хребты"), которые группируются в нефтегазоносные провинции. Основными стратиграфическими интервалами развития ЧС на Северо-Американской плите являются $D_2, D_3 - C_1, C_2 - C_3, J_3, P_2$. Они существенно различаются по условиям накопления, геохимической специализации, содержанию и природе ОВ, а главное — по УВ-газовому потенциалу. Существенные литогеодинамические различия разновозрастных черносланцевых формаций Северо-Американской платформы [12] проявляются и в различной их структурно-тектонической позиции, что в целом обеспечивает широкое географическое распространение (на территории 32 штатов из 48) газоносных сланцевых полей на приемлемых для разработки глубинах и близко к районам потребления.

Барнет (главный полигон для разработки современных методов добычи СГ) и другие месторождения

Яркий пример в этом отношении — южная часть платформы. В ее пределах расположена Пермская впадина (прогибы Делавер и Мидленд, разделенные погребенным поднятием Центральной платформы) — один из крупнейший нефтегазоносных бассейнов, и граничащий с ней с востока погребенный свод Бенд — самостоятельная нефтегазоносная область (рис. 2, 3).

В глубоких прогибах Пермской впадины ЧС отмечены на различных стратиграфических уровнях, в широком диапазоне глубин. Разрез осадочного чехла в пределах свода Бенд стратиграфически сильно редуцирован (отсутствие силура, девона, верхней перми, мезозоя и кайнозоя). По сравнению с Пермской впадиной существенно сокращен и разрез миссисипия, к которому и приурочены газоносные ЧС. В граничащем со сводом Бенд прогибе Мидленд формации ЧС приурочены к девону (Хэнтон, до 250 м) и миссисипию (Вудфорд, до 150 м) [2, 32]. На своде Бенд верхнедевонские ЧС вообще отсутствуют, а ЧС миссисипия представлены свитой Барнет (Barnett) [31]. Это черносланцевая толща (до 500 м), площадь распространения которой около 20000 км² [30, 31]. Глубина залегания слан-

цев Барнет в пределах 750—2500 м (в среднем 1700 м). При сопоставлении разреза миссисипия прогиба Мидленд и свода Бенд наблюдается сходное с угленосными формациями явление расщепления сланцевой свиты Барнет (аналог супермощного угольного пласта) на ряд пачек (аналогов более тонких угольных пластов). В сочетании с умеренными глубинами залегания это создает благоприятные условия для освоения гигантских ресурсов СГ указанной формации.

В 1981 г. в пределах ареала ее развития специально для оценки газоносности ЧС была пробурена обычная скважина глубиной 750 м. Из ЧС свиты Барнет был получен приток газа всего около 3000 м³ (для традиционных газовых залежей — непромышленный дебит). Однако именно это ознаменовало начало принципиально нового этапа геологоразведочных работ на природное УВ сырье — освоение ресурсов СГ. Ему предшествовала длительная (с 1946 г.) разработка методов добычи, осуществляемая компанией "Mitchell Energy and Development" под руководством пионера горизонтального бурения и "отца сланцевого газа" Дж. Митчелла [11].

Конечно, в успешном освоении Барнет, а также других месторождений СГ ведущую роль сыграли отработанные технологии добычи угольного метана и центральнобассейнового газа, где США также являются пионером и мировым лидером. Основные приемы освоения этих нетрадиционных источников природного газа, как известно, одинаковы: горизонтальное бурение и искусственный гидроразрыв (с расклиниванием трещин песком и пропантантами) (рис. 4). Однако не следует недооценивать и специфику освоения СГ, связанную с резкими литологическими и петрофизическими различиями сланцев (black shales), плотных алевропесчаных пород и каменных углей. При освоении СГ сланцев Барнет пришлось преодолевать ряд трудностей и находить новые технологические приемы их преодоления. В частности, в связи с большой (до 500 м) толщиной сланцев пришлось разработать методику их многостадийного (до 12 стадий) гидроразрыва [32].

Первая горизонтальная промышленная (commercial) газовая скважина была пробурена здесь компанией Шлюмберже в 2002 г.

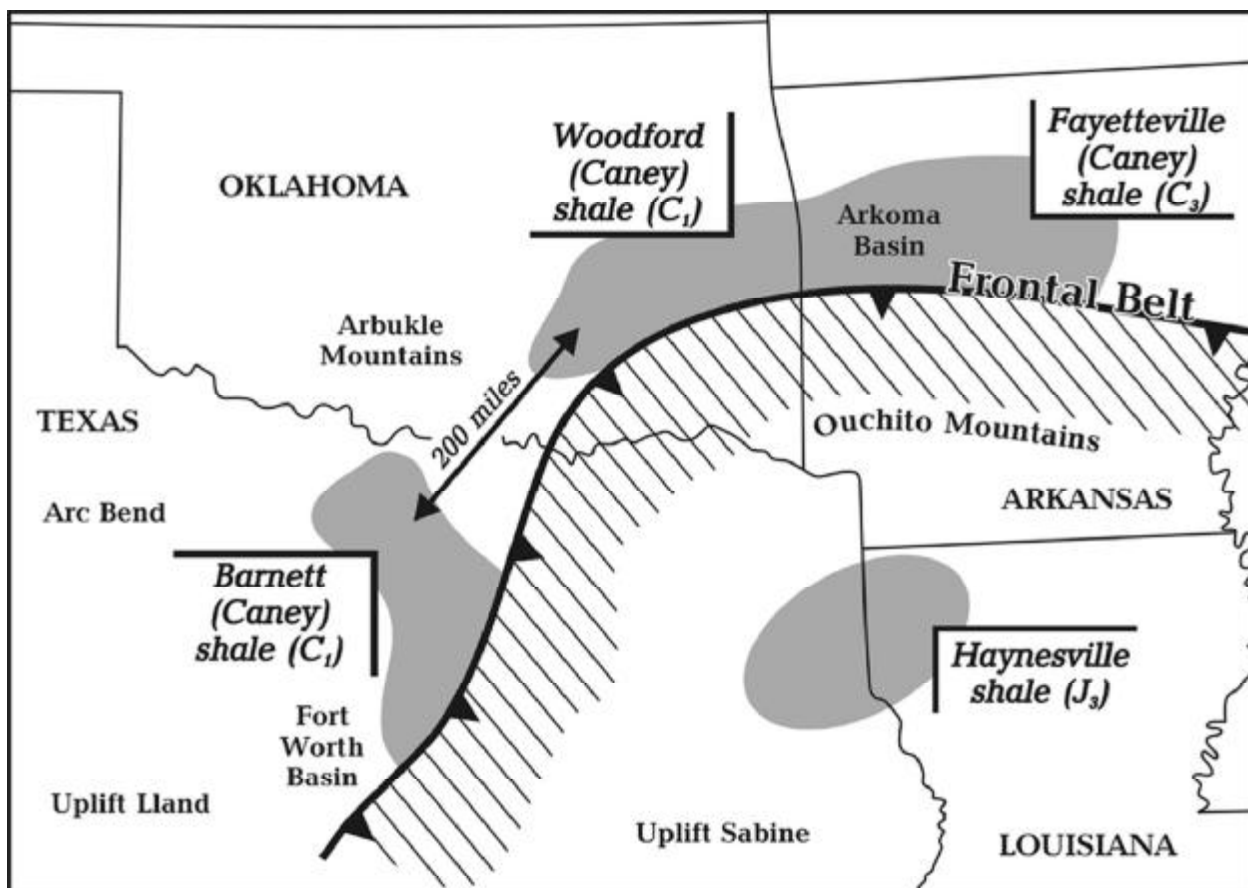


Рис. 3. Географическое размещение и тектоническая позиция месторождений СГ (Барнетт, Вудфорд, Файеттвил, Хейнесвил) в разновозрастных (C_1 - J_3) черносланцевых формациях на юге Северо-Американской плиты (по [32], с изменениями)

В настоящее время СГ добывается здесь из 11 800 скважин. Оказалось, что ЧС формация Барнет представляет собой единое гигантское месторождение (мегарезервуар СГ), в пределах которого выделяют центральную ("ядерную" — Core Area, площадью 5000 км²) зону, где сосредоточены наиболее высокодебитные скважины, и две окаймляющие ее дополнительные зоны (I Extension — 10000 км² и II Extension — 5500 км²).

ЧС Барнет [31] представляют собой серо-коричневые, в разной степени карбонатные глинистые породы с выраженной в различной степени тонкой и микрослоистостью. Среднее содержание глинистых веществ — 20—30%, содержание ОВ гумусово-сапропелевого состава — 1—5% ($C_{орг}$ 0,3—1,8%), пористость — 0,5—6,0%. Степень катагенеза этих пород по приведенным показателям соответствует стадии МК₁ мезокатагенеза. Таким образом, это плотные породы, образующие "tight gas reservoir" с невысоким содержанием ОВ и умеренным газосодержа-

нием. Тем не менее в настоящее время Барнет — самое крупное месторождение природного газа США на суше с доказанными запасами $7,1 \cdot 10^{10}$ м³, на котором суточная добыча в 2009 г. составила 136 млн м³, а планируемая годовая добыча — 50 млрд м³ [32]. Правда есть мнение [26], что доказанные и прогнозные запасы его сильно преувеличены, а средняя продолжительность "жизни" эксплуатационных скважин гораздо короче, чем прогнозировалось. Однако, так или иначе, Барнет стал первым в США (и мире) месторождением СГ, которое разрабатывается на коммерческой основе. Более того, именно оно стало полигоном для совершенствования технологии добычи СГ.

Наряду с Барнетт, в 2003—2007 гг. началось освоение восьми других месторождений (см. таблицу). К наиболее крупным из них относятся Файеттвил (Fayetteville), Хейнесвил (Haynesville) и Марцеллус (Marcellus) [32].

Месторождение Файеттвил (штат Арканзас) [32] приурочено к прогибу Аркома

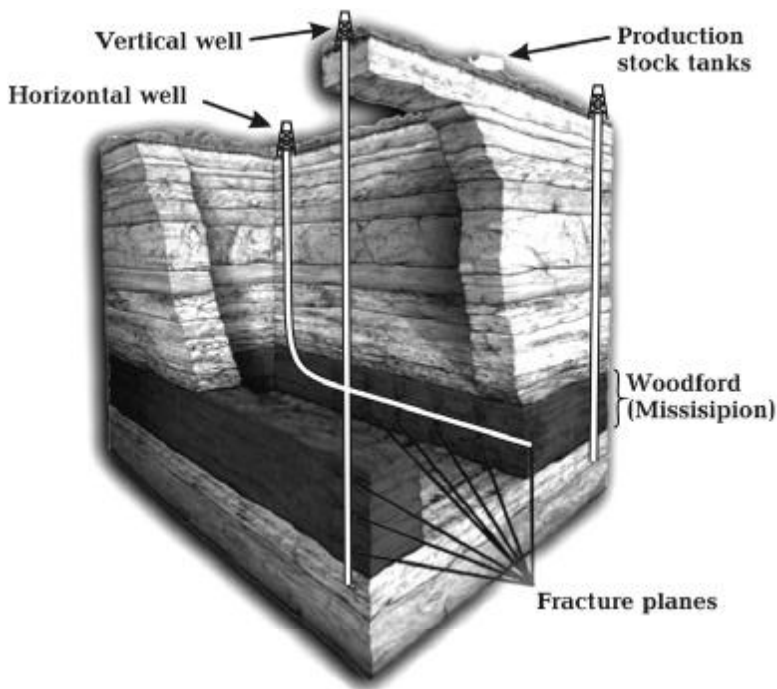


Рис. 4. Принципиальная схема добычи СГ (на примере месторождения Вудфорд, "рабочий пласт" — черносланцевая формация Вудфорд (по [32], с изменениями)

(рис. 2, 3) — приорогенному по отношению к расположенному непосредственно к югу от нее складчатоорогенному сооружению Уошито (рис. 3). ЧС известны здесь на разных стратиграфических уровнях, но освоение СГ связано с верхнекаменноугольной (верхний пенсильваний, серия Вирджил) толщей (15—100 м) ЧС, залегающей в интервале глубин 600—1800 м. Это темно-серые уплотненные глины, содержание ОВ в которых не превышает 3%, а степень катагенеза — ПК₃. На начало 2010 г. здесь пробурено около 500 скважин (длина горизонтального ствола 700—1200 м) с начальным дебитом около 85 000 м³/сут. К концу 2008 г. на месторождении Файеттвил было добыто 13,5 млрд м³ газа.

Месторождение Хейнесвил (Восточный Техас — СЗ часть Луизианы) [32], наряду с Pearsall, является самым южным в США (рис. 2, 3). Оно расположено на северо-западе Галф-Коста в пределах свода Сэбин. Газоносная толща (70—100 м) ЧС залегает на глубинах 3600—4500 м. Это свита Хейнесвил-Букнер позднеюрского возраста, которая, по-видимому, является аналогом "горячих сланцев" (hot shales) киммериджа, широко распространенных в пределах се-

верной части Западно-Европейской плиты (в частности, в Северном море). Из-за больших (для добычи СГ) глубин, сложных пластовых условий и сравнительно небольшой площади освоение этого месторождения началось позже других. Первые скважины на СГ здесь пробурены в 2006—2007 гг. В настоящее время их около 100. Средняя длина горизонтального ствола — 700—1250 м, дебит — до 500000 м³/сут. Резко повышенные, нетипичные для СГ, притоки газа сочетаются с рядом уникальных особенностей данного месторождения: большими значениями пористости (8—12%) и удельного газосодержания, аномально высокими давлениями и температурами, повышенными содержаниями водорода и гелия. Хейнсвил пока единственный пример не экстенсивного (ог-

ромные территории, большое количество скважин), а интенсивного освоения ресурсов СГ. За один (2008) год всего из сотни скважин здесь было добыто 5 млрд м³. Поэтому оно считается одним из наиболее перспективных месторождений. Наряду с его антиподом (колоссальная площадь, гораздо более древние и более плотные ЧС, залегающие на небольших глубинах в условиях невысоких пластовых давлений и температур) Марцеллус, это пока самое крупное по запасам месторождение СГ в Северной Америке (и мире) [32].

Месторождение Марцеллус [32] наряду с месторождениями Нижний Гурон и Атика образуют единый гигантский ареал (территория штатов Огайо, Западная Вирджиния, Пенсильвания и, частично, Нью-Йорк) верхнедевонских и миссисипских газоносных ЧС (рис. 5). В административном отношении собственно месторождение Марцеллус расположено в Пенсильвании (вплоть до границы с штатом Нью-Йорк), в тектоническом — это крупный сегмент внешней зоны Предаппалачского прогиба и часть огромного сланценосного и угленосного Аппалачского бассейна. ЧС в виде пластов, пачек и толщ широко распростра-

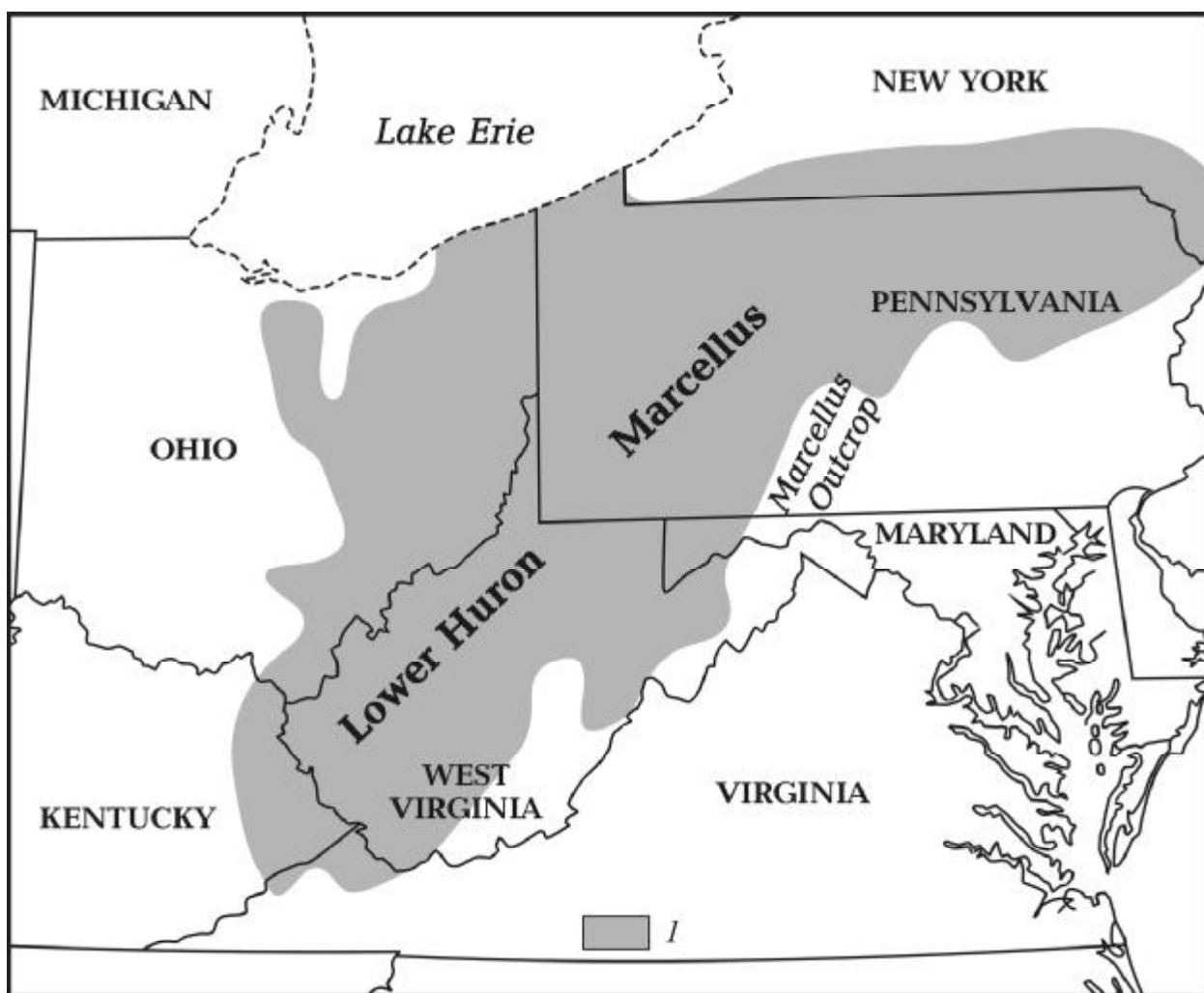


Рис. 5. Месторождения СГ Марцеллус (США) и Нижний Гурон (Канада) в одноименных черносланцевых формациях среднего девона (по [32], с изменениями)

1 — промышленная газоносность месторождений Марцеллус и Нижний Гурон

нены здесь в среднем и верхнем девоне, миссисипии, а также в пенсильвании. Уникальной является толща, или вернее пачка (member) среднедевонских ЧС (толщиной от 20 до 80 м и более), залегающая на площади около 17 500 км² и повсеместно газоносная. Как отмечалось, в разных местах этого ареала на протяжении свыше 200 лет (начиная с 1821 г.) при бурении из нее всегда получали слабые притоки газа (газопрооявления). В пределах месторождения Марцеллус газ добывается именно из этой пачки (30—60 м) (рис. 6). Глубина ее залегания — 1500—2400 м. Содержание ОВ в среднем составляет 5%. Степень катагенеза варьирует от ПК₃ до МК₂ и более. Пористость — 1—5%.

Здесь пробурено около 400 скважин (средняя длина горизонтального ствола —

1250 м), дебиты которых на начальном этапе достигали 200 000 м³/сут. Несмотря на низкую степень освоения, в перспективе Марцеллус рассматривается как наиболее крупное месторождение СГ в США [32]. При этом следует учесть, что совместно с ним в пределы крупнейшего в мире Аппалачского сланценосного бассейна входят месторождения Атика (штат Нью-Йорк) и Нижний Гурон (Канада), запасы которых гораздо меньше, чем на Марцеллусе. Разведанные запасы СГ связаны на этих, не столь больших, как Марцеллус, месторождениях с той же среднедевонской пачкой ЧС. Если учесть широкое развитие ЧС, помимо среднего девона, в верхнем девоне и карбоне Предаппалачского прогиба и угольный метан Аппалачей, то, по мнению автора, есть все основания выделить на востоке США "газо-

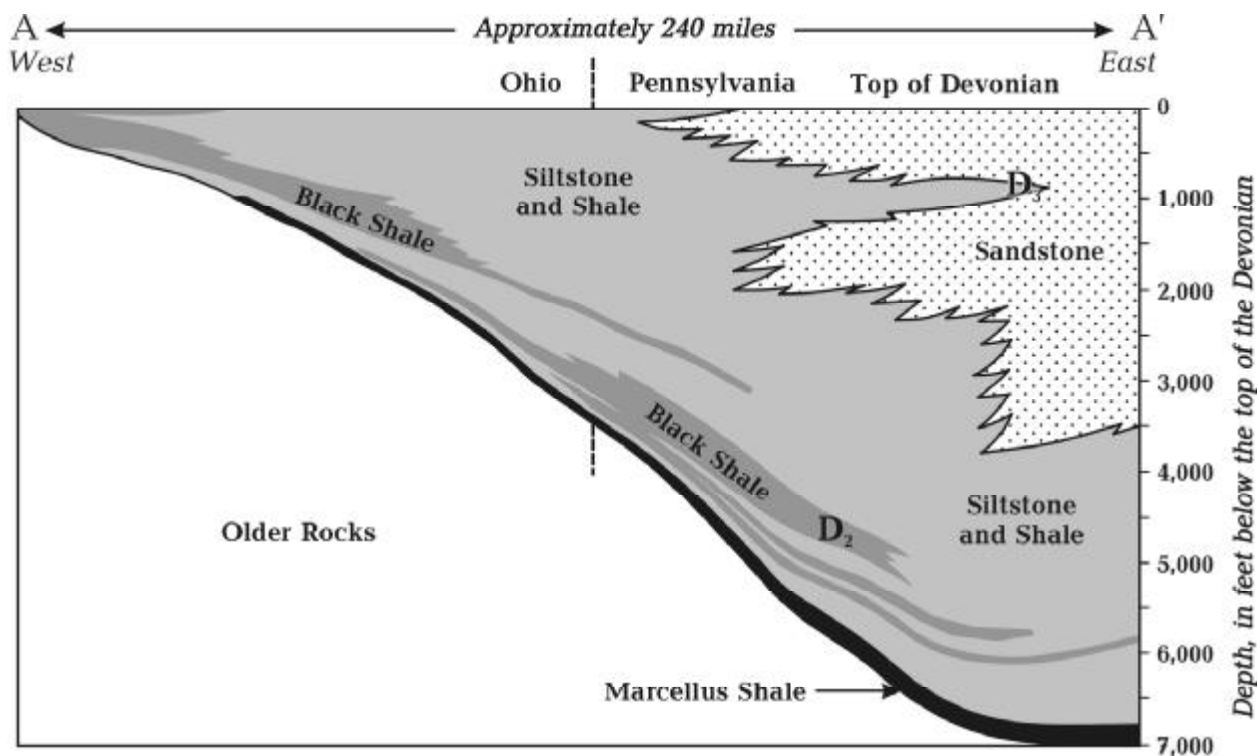


Рис. 6. Геологическое строение месторождения СГ Марцеллус (по [32], с изменениями)

вый полюс" планеты, ресурсы природного газа в пределах которого будут больше, чем в Ямальском и Южно-Иранском полюсах (здесь уместно провести аналогию с гомоклиналью Альберта, где сосредоточены колоссальные нетрадиционные ресурсы нефтяных УВ, многократно превышающие запасы нефти на Ближневосточном и других "нефтяных полюсах"). Ресурсы Марцеллуса и Нижнего Гурона суммарно превышают 600 трлн м³. Сама по себе эта цифра не вызывает сомнения у экспертов.

Кроме того, большой интерес представляет ряд других месторождений СГ Северной Америки. В частности, отметим два канадских месторождения, которые, наряду с месторождением Нижний Гурон, дают представление о широте стратиграфического и тектонического диапазона газоносности ЧС формаций континента.

Хорн Ривер (Horn River), расположенное в Британской Колумбии, является очень крупным месторождением СГ. Газоносны здесь среднедевонские ЧС — депрессионные (по отношению к знаменитым нефтеносным рифам D₂ Западной Канады) отложения. Их толщины — 100—150 м, глубины залегания — 2500—3000 м. Глубокое погру-

жение, как и в случае с Хейнесвиллом, в какой-то мере компенсируется высоким удельным газосодержанием и высокими (до 450 000 м³/сут) дебитами. Учитывая сравнительную отдаленность этого месторождения от районов потребления, здесь в 2009 г. начато строительство 36-дюймового газопровода длиной 158 км до ближайшей врезки в газопровод TransCanada [32].

Месторождение Монтней (Montney), также расположенное в Британской Колумбии, связано с совершенно другой ЧС формацией (300 м и больше) раннетриасового возраста. Содержание ОВ в газоносных сланцах — 1—6%. Глубина залегания — 1700—4000 м. Дебиты на начальном этапе достигают 450 000 м³/сут. Здесь также планируется проведение газопровода (78 км) до ближайшей врезки в магистральный газопровод. Это свидетельствует о том, что с месторождениями СГ в Британской Колумбии есть основания связывать большие перспективы [32].

Главный вопрос в оценке перспектив разработки и Барнета, и Марцеллуса, как и ряда других месторождений СГ (исключение благодаря аномально высоким давлениям, температурам, пористости и газонасыщенности составляют верхнеюрские ЧС месторожде-

ния Хейнесвил и канадские месторождения Британской Колумбии), заключается в оценке длительности промышленных дебитов горизонтальных скважин. По оптимистическим оценкам некоторых добывающих СГ компаний срок "коммерческой жизни" горизонтальных скважин может достигать 30—40 лет. Однако некоторые специалисты из консалтинговых компаний расценивают эти сроки гораздо ниже (7—15 лет) [26]. По-видимому, диапазон этих значений очень широк, в зависимости от конкретных характеристик газоносных ЧС, существенно различных по литологическим особенностям и вещественному составу, прочностным свойствам, газосодержанию и газоотдаче. Тем не менее необычайно высокие темпы и высокая эффективность освоения СГ на Барнете и других месторождениях США позволяют высоко оценивать перспективы его дальнейшей добычи. Нет сомнений в том, что дальнейшее совершенствование технологии разработки намного повысит устойчивость промышленных дебитов и обеспечит полноту извлечения СГ.

Освоение месторождений СГ и экология

У противников экстенсивного освоения обширных территорий развития газоносных ЧС, помимо технологических, имеются и экологические аргументы. Действительно, экологический ущерб от добычи СГ гораздо выше, чем при разработке традиционных газовых месторождений (разумеется, если она не сопровождается авариями и прорывами глубинного газа). Это связано прежде всего с особенностями технологии его добычи, а также с особенностями химического состава СГ.

В СГ, который в целом характеризуется более высоким, по сравнению со свободным газом, содержанием неуглеводородных газов (CO_2 , N_2 , H_2), чаще встречаются примеси H_2S , а также меркаптанов и других вредных соединений, что зависит от природы ОВ, степени ее катагенеза и гидрогенизации. Разумеется, для такой страны, как США, достаточная степень очистки газа не является проблемой. Однако для экономически и технологически менее развитых стран при неблагоприятном составе органики ЧС и окклюдированного в них газа возможны экологические осложнения, хотя,

например, биогаз в этом отношении гораздо хуже, чем СГ.

Значительно большую угрозу для окружающей среды представляет массивное применение гидравлического разрыва пласта, поскольку при этом широко используются жидкости на УВ основе и их загустители (сульфид-спиртовая барда и другие производные хорошо растворимой в воде целлюлозы, соли органических кислот, высокомолекулярные соединения — отходы нефтепереработки и т. п.). Все это может привести к загрязнению подземных, в частности артезианских питьевых вод, повышению концентрации в воде, почвах и растительности канцерогенных соединений и другим нежелательным последствиям. В связи с этим в последние годы в США нередко возникали острые ситуации, связанные с нарушениями правил проведения гидроразрыва крупными сервисными компаниями [28]. Так, в 2003 г. EPA (Агентство по охране окружающей среды) потребовала от трех самых крупных сервисных компаний, занимающихся гидроразрывом пласта (Halliburton, B.J.Services и Schlumberger), прекращения использования дизельного топлива при изготовлении рабочих жидкостей разрыва и жидкостей-песконосителей. Однако это запрещение систематически нарушалось, и в 2005 г. решением Конгресса США оно было принято в законодательном порядке на основании действующего закона об охране питьевой воды.

Впрочем, у проблемы СГ есть и совершенно иной экологический аспект. Освоение его огромных ресурсов существенно упрочит значение природного газа как альтернативы углю и ядерной (урановой) энергетике и, возможно, продлит газовую эпоху в глобальной энергетике вплоть до появления принципиально иных экологически чистых источников энергии. Именно под таким углом зрения рассматривает проблему СГ ведущий российский эксперт по охране окружающей среды академик РАН А.В. Яблоков [11].

Заключение

Колоссальные запасы газоносных ЧС в Северной Америке, мощный экономический потенциал, передовая, постоянно совершенствующаяся технология бурения и боль-

шой опыт освоения нетрадиционных источников газа (центральнобассейновый газ, угольный метан и СГ), высокоразвитая инфраструктура, близость газоносных сланцевых полей к районам потребления газа, финансовая поддержка со стороны государства (льготное налогообложение добычи газа из всех нетрадиционных источников, включая СГ) — все это делает рентабельной разработку СГ и создает благоприятные перспективы дальнейшего увеличения его роли в структуре топливно-энергетического комплекса США (и Канады). Что касается прогнозных ресурсов СГ, которые в США, в отличие от других стран, уже получили достаточно достоверную оценку, то они составляют свыше 1500 трлн м³ [32]. Поэтому вполне обоснованы расчеты, согласно которым в 2010 г. в США будет добыто 51 млрд м³ СГ (10% от общей добычи газа). Планируется, что к 2015 г. объем его добычи составит 180 млрд м³, а к 2020 г. — свыше 220 млрд м³ — половину годовой добычи газа [32]. Согласно последним прогнозам Департамента по энергетике США, добыча СГ в стране будет увеличиваться в период до 2035 г. со среднегодовым приростом 5,3%, в то время как импорт газа будет снижаться на 2,6% в год [17].

Опыт США в освоении СГ имеет, несомненно, огромное значение для глобальной энергетической стратегии. Однако другие страны при решении этой проблемы столкнутся с большими экономическими, технологическими и экологическими трудностями.

1. *Алексашенко Н. А.* Начало конца "Газпрома" (сланцевый газ). — EnergyFuture.RU — <http://energyfuture.ru/aleksashenko—nacha-lo-konca-gazproma>.
2. *Бакиров А. А., Варенцов М. И., Бакиров Э. А.* Нефтегазоносные провинции и области зарубежных стран. — М.: Недра, 1971. — 541 с.
3. *Ведомости:* Альтернативный газ добьет Газпром! — EnergyFuture.RU — <http://energyfuture.ru/vedomosti-alternativnyj-gaz-dobet-gazprom>.
4. *Ведомости:* США обогнало РФ по добычи газа. — EnergyFuture.RU — <http://energyfuture.ru/vedomosti-ssha-obognalo-rf-po-dobychi-gaza>
5. *Великая* сланцевая революция. — Slon.ru — <http://www.slon.ru/blogs/msalihov/post/196826/>.
6. *Горячкин А.* Сланцевый мир. Труба. То есть, эпилог. — "ОДНАКО" Украина — информационно-аналитический проект. — <http://www.odnako.org/ru/blogs/2010/04/blog525.html>.
7. *Горючие сланцы.* — Л.: Недра, 1980. — 260 с. (перевод с англ. Oil Shale, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam — Oxford — New York, 1976).
8. *Дело — труба.* — I.Ua — <http://blog.i.ua/user/2583938/416242>.
9. *Коммерсант:* Крах Штокмана (сланцевый газ идет!). — EnergyFuture.RU — <http://energyfuture.ru/komersant-krax-shtokmana-slancevyj-gaz-idet>.
10. *Крупнейшее* месторождение сланцевого газа Марцеллус (Marcellus): Чудо или Миф? — EnergyFuture.RU — <http://energyfuture.ru/krupnejshee-mestorozhdenie-slancevogo-gaza-marcellus-marcellus-chudo-ili-mif>.
11. *Лившиц В.* Природный сланцевый газ. — Проза.Ру — <http://www.proza.ru/2010/02/06/468>.
12. *Лукин А. Е.* Литогеодинимические факторы нефтегазоаккумуляции в авлакогенных бассейнах. — Киев: Наук. думка, 1997. — 224 с.
13. *Лукин А. Е.* О происхождении нефти и газа (геосинергетическая концепция природных углеводородно-генерирующих систем) // Геол. журн. — 1999. — № 1. — С. 30—42.
14. *Очередная* заказушка про сланцевый газ. Теперь его добывают якобы очень мало. — EnergyFuture.RU — <http://energyfuture.ru/ocherednaya-zakazushka-pro-slancevyj-gaz-teper-ego-dobyvayut-yakoby-ochen-malou>.
15. *Перспективные* нефтегазоносные провинции Соединенных Штатов Америки. — М.: Недра, 1974. — 627 с.
16. *Сланцевый газ.* — Википедия. — http://ru.wikipedia.org/wiki/Сланцевый_газ.
17. *Сланцевый газ* в России: обсуждение в Государственной Думе. Мировая закулиса против России. — EnergyFuture.RU — <http://energyfuture.ru/slancevyj-gaz-v-rossii-obsuzhdenie-v-gosudarstvennoj-dume-mirovaya-zakulisa-protiv-rossii>.
18. *Сланцевый газ:* плюсы и минусы? — EnergyFuture.RU — <http://energyfuture.ru/slancevyj-gaz-revolucionnyj-energoistochnik-ili-mylnyj-puzyr>.
19. *Сланцевый газ:* революционный энергоисточник или мыльный пузырь? — UA Energy — <http://uaenergy.com.ua/c225758200614cc9/0/225d674f5d0b645dc225767800430796>.

20. *Сланцевый* газ. Революция, которая изменит газовую геополитику. — Rambler финансы. — <http://finance.rambler.ru/news/economics/53641250.html>.
21. *Сланцевый* пшик? // Электронный журнал "Вокруг газа". — <http://trubagaz.ru/issue-of-the-day/slantsevyjj-pshik/>.
22. *Словарь* по геологии нефти и газа. — Л.: Недра, 1988. — 679 с.
23. *Соболев П.* Сланцевый газ, экономика и геополитика. — http://petersobolev.blogspot.com/2009/10/blog-post_2146.html.
24. *США* опять добывает больше всех газа в мире за счет сланцевого газа. — EnergyFuture.RU — <http://energyfuture.ru/ssha-opyat-dobyvaet-bolshe-vsex-gaza-v-mire-za-schet-slancevogo-gaza>.
25. *Толковый* словарь английских геологических терминов. — М.: Мир, 1987. — Т. 1. — 585 с.; Т. 2. — 587 с.; Т. 3. — 590 с.
26. *Уроки* месторождения сланцевого газа Барнетт (Barnett). — EnergyFuture.RU — <http://energyfuture.ru/uroki-mestorozhdeniya-slancevogo-gaza-barnett-barnett>.
27. *Шахова С.* (по материалам зарубежных СМИ). Сланцевый газ против Газпрома. — АСД (информ.-аналит. проект). — http://sd.net.ua/2010/02/15/nauka_protiv_gazproma.html.
28. *Экологические* последствия добычи сланцевого газа. — EnergyFuture.RU — <http://energyfuture.ru/ekologicheskie-posledstviya-dobychi-slancevogo-gaza>.
29. *Юдович Я. Э., Кетрис М. П.* Геохимия черных сланцев. — Л.: Наука, 1988. — 272 с.
30. *Airhart M.* The Barnett Shale Gas Boom Igniting a Hunt for Unconventional Natural Gas Resources. — Geology.com. — <http://geology.com/research/barnett-shale-gas.shtml>.
31. *Barnett Shale.* — Wikipedia — http://en.wikipedia.org/wiki/Barnett_Shale.
32. *FAQ* от EnergyFuture.RU по сланцевому газу. — EnergyFuture.RU — <http://energyfuture.ru/faq-ot-energyfuture-ru-po-slancevomu-gazu> (в 3-х частях).
33. *New York Times:* "Буровой бум" в США возрождает надежды на природный газ. — Нефть России (информ.-аналит. портал). — <http://www.oilru.com/news/80817/>.
34. *North American Shale Gas, Russia and Europe: An Unexpected Intersection* //Presentation to the Northeast B.C. (Kenneth B Medlock III). — Natural Gas Summit September 30, 2009.
35. *Watson N.* You can be sure of shale. — BNE. — <http://businessneweurope.eu/story1921>.

Ин-т геол. наук НАН Украины,
Киев
E-mail: ukrnigri@mail.cn.ua

Статья поступила
14. 06.10