

УДК 550.832

И. Карпенко, млад. науч. сотрудник,
E-mail: i.karpenko@petroply.com, Тел.: +38(093)601-08-57
ДП "Научно-исследовательский институт нефтегазовой промышленности
"Национальной акционерной компании "Нефтегаз Украины"

ЛИТОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СЛАНЦЕВЫХ ПОРОД С ПОВЫШЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ КЕРОГЕНА

(Рекомендовано членом редакційної колегії канд-м геол. наук, ст. наук. співроб. І.М. Безродною)

К особенностям неконвенционных сланцевых скоплений углеводородов, в первую очередь, относится: а) нефтегазогенерирующие породы выступают в роли малопроницаемых нефтегазоносных пород-коллекторов, которые не нуждаются во флюидоупорах; б) эффективное поровое пространство распределено в самом объеме керогена, сформировавшееся в процессе его катагенетических преобразований органического вещества (ОР). Изучение и уточнение свойств подобных пород-коллекторов с повышенным содержанием керогена связано с применением новых подходов к геологоразведочным работам и с необходимостью использования технологии гидроразрыва пласта в низкопроницаемых формациях.

Сопоставление стратиграфических и седиментационных особенностей сланцевых формаций с подтвержденной продуктивностью и схожих разновозрастных формаций Днепровско-Донецкой впадины дало повод и мотивацию к изучению литологических и физических свойств литофаций с повышенным содержанием керогена. В силу близких условий образования нефтегазоносных сланцев с повышенным содержанием керогена в палеобассейнах Утика/Пойнт Плезант и образования определенных формаций в ДДв, были выделены литотипы с наибольшим содержанием керогена, как перспективные для дальнейших исследований. Были получены математические зависимости радиоактивности, объемной плотности и удельного электрического сопротивления от содержания органического углерода для нефтегазоносных отложений формации Утика и разновозрастных отложений ДДв, в частности для нижнекаменноугольных отложений ДДв. Использование лишь отдельных математических зависимостей не дает удовлетворительных результатов. Допустима исключительно комбинация в виде системы уравнений, описывающих характер изменения разных физических свойств сланцев от содержания органического компонента, для получения достаточно надежных результатов определения доли керогена в составе изучаемых пород-коллекторов. Величины водородного и кислородного индексов дают повод прогнозировать лишь низкомолекулярные продукты генерации и последующее их извлечение. Полученные выводы о литологических характеристиках и математические зависимости были использованы в научных исследованиях, результаты которых уже доложены на международных конференциях и будут опубликованы в нескольких статьях.

Ключевые слова: углеводороды, кероген, органический углерод, сланцы, акустический каротаж, радиоактивность, электрическое сопротивление, объемная плотность, компонентный состав.

Проблема. В связи с невысокими темпами прироста ресурсов углеводородов (далее УВ) и открытия новых месторождений конвенционного типа отрасль нуждается в освоении новых запасов углеводородного сырья. Разведка и разработка скоплений углеводородов нетрадиционных типов нуждаются в новых подходах и методах, что объясняется рядом литолого-петрофизических и геофизических особенностей нефтегазоносных сланцевых пород.

Задача. Основной целью этого исследования является анализ предыдущих публикаций, посвященных определению свойств сланцевых литофаций с подтвержденной продуктивностью. А также самостоятельное выявление наиболее перспективных литофаций, определение и уточнение их свойств и получение математических зависимостей, описывающих свойства.

Материалы. В данном исследовании была использована информация, полученная научно-исследовательским и проектным институтом "Науканафтогаз" у Департамента Природных Ресурсов штата Огайо (США). Материалом для работы послужила база петрофизических и геофизических данных по формациям Утика и Пойнт Плезант, а также каротажные кривые из нескольких десятков продуктивных и непродуктивных скважин. Также были проанализированы результаты лабораторных исследований кернового материала средне- и нижнекаменноугольных отложений Днепровско-Донецкой впадины.

Предыдущие исследования и публикации. Авторами научных статей в зарубежных журналах описаны разнообразные методики диагностики материнских пород и черносланцевых формаций с промышленными запасами углеводородов (Квин Пасси, Вальтер Фёртл, Джордж Чилинджер, Алан Карпентер, Джеймс Мендельсон, Токсоз). Также опубликованы результаты многочисленных исследований свойств керогена, процессов генерации УВ, геометрии порового пространства, компонентного состава и свойств нефтегазогенерирующих фаций такими известными исследователями, как: Н.Б. Вассоевич, С.Г. Неручев, И.И. Амосов, О.К. Баженова, Дж.С. Левенталь, М.Х. Недерлоф, Дж.В. Шмокер, К. Пасси, Б. Тиссо и Д. Вельте, В.Е. Свенсон, М. Мёрфи и др.

Нами проведен анализ литолого-геофизических параметров для выявления недостатков и сильных сторон методик, корректности использования рекомендуемых коэффициентов, уравнений и зависимостей между свойствами фаций с высоким содержанием органического вещества, которые понадобятся для разработки методики выявления и диагностики газонасыщенных сланцевых толщ. Как известно из многочисленных публикаций, первоочередным индикатором перспективности нефтегазогенерирующих фаций является содержание органического углерода (далее СОУ), которое хорошо коррелируется с коэффициентом пористости (часто) и газонасыщенностью (рис. 1).

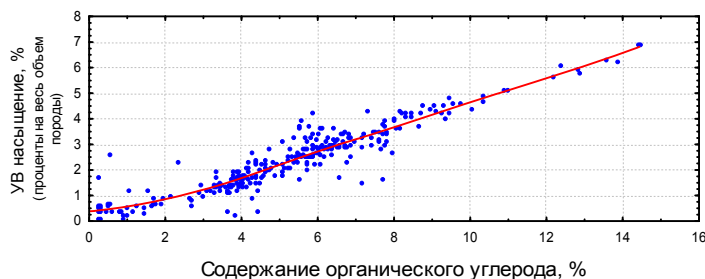


Рис. 1. Зависимость УВ насыщения от СОУ по образцам формации Утика, США
(по результатам исследования образцов керна формации Утика, материалы Школы Наук о Земле Штата Огайо)

Наиболее поздние исследования (май 2012 г) образцов горных пород формации Утика свидетельствуют о том, что 80% эффективной пористости находится непосредственно в керогене и образовывается в процессе катагенетичних преобразований ОВ. Поступление и накопление исходного материала ОВ в определенной мере определяет состав и распределение органических компонентов в породе. В свою очередь, это влияет на неразрывность отдельных скоплений керогена между зернами и скоплениями других минералов, и неразрывность порового пространства, которое образуется в керогене [9].

Выявление фаций с повышенным СОУ является приоритетной задачей в поисках нетрадиционных скоплений УВ в сланцевых формациях. Петрофизические модели, ориентированные на математическое описание сланцевых толщ, основаны на использовании аномальных показаний геофизических приборов в присутствии повышенного СОУ и насыщения порового пространства УВ [3, 6, 7, 10]. Джеймс Мендельсон [8] предложил рассматривать материнские породы как трехкомпонентную составляющую (матрица, кероген, поровый флюид) и вывел ряд математических зависимостей для определения СОУ. Он не использовал данные электрического каротажа (т.е. влияние СОУ на удельное электрическое сопротивление породы); также не был учтен уровень термической зрелости и "слишком" усреднено большинство коэффициентов. Автор выдвигает спорное утверждение о наличии физического закона, предполагающего прямую связь между содержанием радиоактивных элементов в породе и содержанием керогена, и использует его в своих математических выражениях. Результаты статистических исследований показывают хорошую корреляцию между содержанием элементов уранового ряда с СОУ и даже с продуктивностью пород [11]. Хотя такая эмпирическая ассоциация зачастую бывает удовлетворительной с точки зрения математической статистики, физическая модель для объяснения этого соотношения до сих пор не существует. Есть целый ряд примеров, когда известные материнские породы (озерного происхождения) вообще не проявляют аномалии радиоактивности [7]. Параллельно с этим существуют задокументированные примеры материнских пород, сформированных как озерные, и которые характеризуются значительными аномалиями содержания урана [4]. Также следует отметить экспериментальные исследования [5], в которых показано, что некоторые виды водорослей при ожидаемых концентрациях 2 промилле урана, характеризовались концентрациями этого элемента, превышающими ожидаемые в 1000 раз. Вышеперечисленные примеры указывают на то, что концентрация урана в керогене зависит от типа органического вещества, из которого он образовался (аналогичный вывод был сделан Левенталем, 1981). Если прослеживается зависимость между содержанием радиоактивных элементов и СОУ и ее можно описать математическим выражением, то ее использование допустимо исключительно только в аналогичных типах одновозрастных отложений с аналогичным типом керогена. Вальтер Ферл и Джордж Чилинджер [3] методом многократной корреляции содержания сланцевой нефти с различными геофизическими параметрами и выводением математических зависимостей между петрофизическими параметрами пришли к обобщенным математическим выражениям. Корреляционные зависимости между плотностью породы и содержанием сланцевой нефти являются неудачными. К сожалению, введенный авторами индикатор

"D" не дает возможности проведения количественной оценки СОУ или насыщенности УВ.

Общепризнанная методика DlogR Квина Пасси [10] основана на сравнении показаний кривой нейтронной пористости с кривой электрического сопротивления, либо кривой плотности при ГГК / интервального времени при АК с кривой электрического сопротивления в пластах с пониженным и повышенным содержанием керогена. Методика используется многими петрофизиками и успешно работает, но не во всех типах отложений. В карбонатных породах с повышенным, а иногда очень высоким, электрическим сопротивлением она дает неудовлетворительные результаты. Также здесь недостаточно учитываются вариации диаметра скважины, газонасыщение пропластков классических коллекторов и зоны аномально высоких пластовых давлений для корректного использования акустического и нейтронного каротажа в этой методике.

Газоносные сланцевые породы формации Утика и Пойнт Плезант. Отличительной чертой в компонентном составе газоносных сланцев является наличие керогена, сернисто-железистых и железисто-карбонатных минералов, свойства которых в значительной мере влияют на общие свойства породы [4, 8]. Доминирующими компонентами являются глинистые минералы, кварц, полевошпат и карбонатные минералы; и следует заметить, что породы формаций Утика и Пойнт Плезант характеризуется аналогичным составом (рис. 2).

Внутренне-континентальный бассейн Утика-Пойнт Плезант формировался в ордовикский период в Северной Америке и был ограничен карбонатной платформой Лексингтон с северо-запада и Трентон с юго-запада и более крупным бассейном Таконик на востоке [9]. Учитывая более активное развитие карбонатных органогенных построек в период отложения сланцевой формации Пойнт Плезант, в компонентном составе пород преобладают карбонатные и глинистые минералы. В более поздний период трансгрессивные отложения формации Утика выполнялись разными типами глинистых сланцев, доминирующую часть которых занимают светлые и темно-серые глинисто-песчаные сланцы с второстепенными карбонатными составляющими (рис. 3). Отложение исходного материала происходило в условиях шельфа, на небольших глубинах; черные сланцы формировались в условиях заливов и лагун, где были аноксические условия осадконакопления.

Выявляется сходство пространственно-временных закономерностей размещения сланцевых толщ рассмотренных формаций США и некоторых формаций ДДв. Преобладающее большинство продуктивных сланцевых формаций на территории северной Америки несогласно залегают на карбонатных "платформах". Результаты палеорекострукций условий седиментации продуктивных сланцев в палеобассейне Утика/Пойнт Плезант схожи с условиями в ДДв на временной границе нижнего и верхнего визе (известные рудовские слои в ДДв с высоким СОУ несогласно залегают на визейской карбонатной платформе). Опираясь на вышеописанные особенности, было принято решение провести статистический анализ упомянутых отложений для выявления фаций с наивысшим СОУ. Проведенный анализ распределения значений СОУ свидетельствует, что черные и темно-серые алевролиты-аргиллитовые сланцы содержат наивысшие концентрации керогена, с СОУ - до 5-6% (рис. 3).

По построенной диаграмме Ван-Кревелена (рис. 4) были определены типы керогена и его исходный материал. Явное преобладание II и III типов керогена наталкивает на выводы о доминирующей доле обра-

зованных низкомолекулярных углеводородных соединений (далее УВС). Это подтверждается фактом наличия большого количества газовых и газоконденсатных месторождений в Огайо (как и в ДДв), генетически связанных с формациями Утика и Пойнт Плезант, как с нефтегазоматеринскими. Склонность к генерации высокомолекулярных УВС характерна для формации Утика на территории штатов Нью Йорк, Пенсильвания и Западная Вирджиния. Образцы пород с проанализированным керогеном были взяты из скважин на территории штата Огайо, где в ордовикский период были

области выноса больших объемов терригенного органического вещества в бассейн. Кероген, полученный из скважин, территориально расположенных в зоне генерации высокомолекулярных органических соединений, характеризуется высокими значениями водородного индекса, в рамках 400-800 мг НС/г Сорг, по большей части, образован водорослями *Gloeocapsamorpha prisca*. По результатам петрографических анализов органическое вещество других образцов керна соответствует аморфиниту, альгиниту, витриниту и инертниту в разных соотношениях.

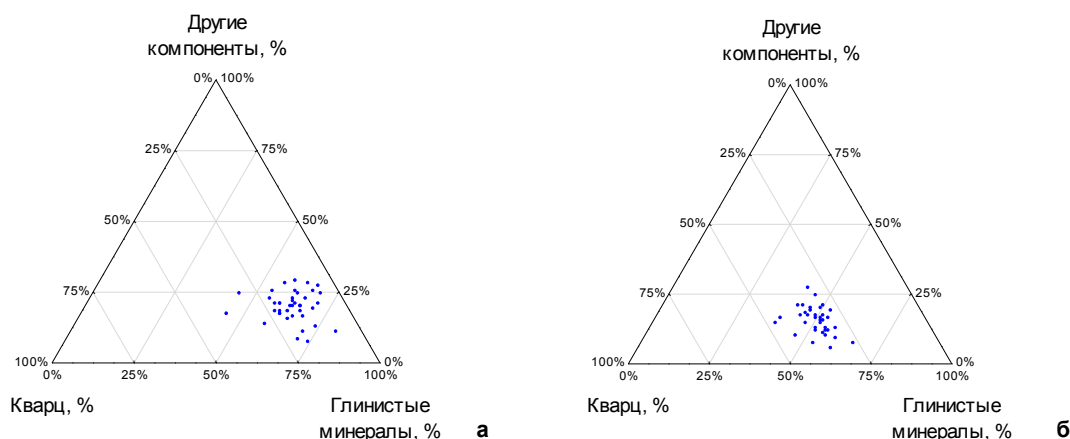


Рис. 2. Объемное (а) и весовое (б) соотношения доминирующих компонентов в продуктивных интервалах формаций Утика и Пойнт Плезант



Рис. 3. Распределение литофаций, образующих формацию Утика:

а – гистограмма частоты распределения литофаций, образующих формацию Утика; б – график распределения СОУ в литофациях; в – график распределения значений водородного индекса в литофациях

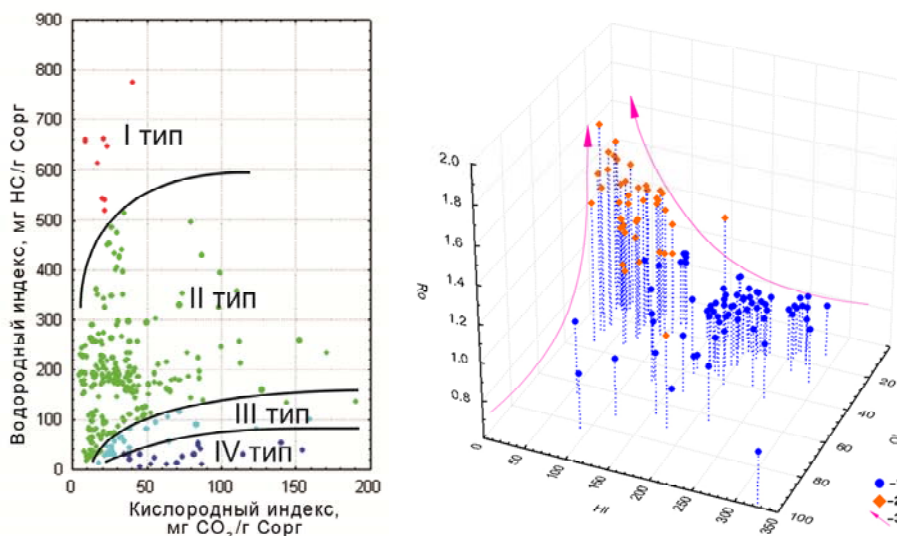


Рис. 4. Диаграмма Ван-Кревелена (слева), цифрам соответствуют типы керогена; диаграмма (справа) с трендом изменения состава керогена в процессе катагенетических преобразований, HI и OI - водородный и кислородный индексы, Ro – отражательная способность витринита в масле (%)

На диаграмме, совмещающей водородный и кислородный индексы по осям абсцисс и ординат и отражающую способность витринита по оси аппликат, хорошо прослеживается тренд изменения водородо- и кислородосодержания в процессе катагенетических преобразований. К сожалению, отсутствуют данные о коэффициенте пористости и проницаемости этих образцов для того, чтобы проследить динамику увеличения этих параметров в процессе генерации УВС.

В Школе Наук о Земле при Национальном Университете Огайо были проведены петрофизические исследования [4] образцов керн формаций Утика и Пойнт Плезант:

➤ слюдястый глинисто-карбонатный образец с примесью кварца и пирита, не зрелый ($R_o \approx 0,2\%$), COY в пределах 1-2%, характеризуется эффективной пористостью 3,1%, поры в керогене отсутствуют, средний диаметр пор - $4,7 \cdot 10^{-9}$ м; нет ни одной, средний диаметр которой превышает 10^{-8} м;

➤ кальцитовый сланец с примесью кварца и пирита, COY 3% с более низким значением эффективной пористости, не превышающей 1,4%, образованной не за счет соединенных скоплений керогена, со средним диаметром пор до $5,7 \cdot 10^{-9}$ м;

➤ сланец с равной долей карбонатного, глинистого и кварцевого материала с вкраплениями пирита, зрелый ($R_o \approx 2,0\%$), с COY в пределах 3-4%, характеризуется эффективной пористостью 2,7% с заметными порами в керогене, которые соединены между собой, а размер пор превышает десятки нанометров (отличительной чертой является наличие пор в несколько микрометров).

Используя обширную базу данных, были построены графики зависимостей объемной плотности, удельного электрического сопротивления и радиоактивности в зависимости от содержания органического углерода, а также математические выражения, их описывающие (рис. 5).

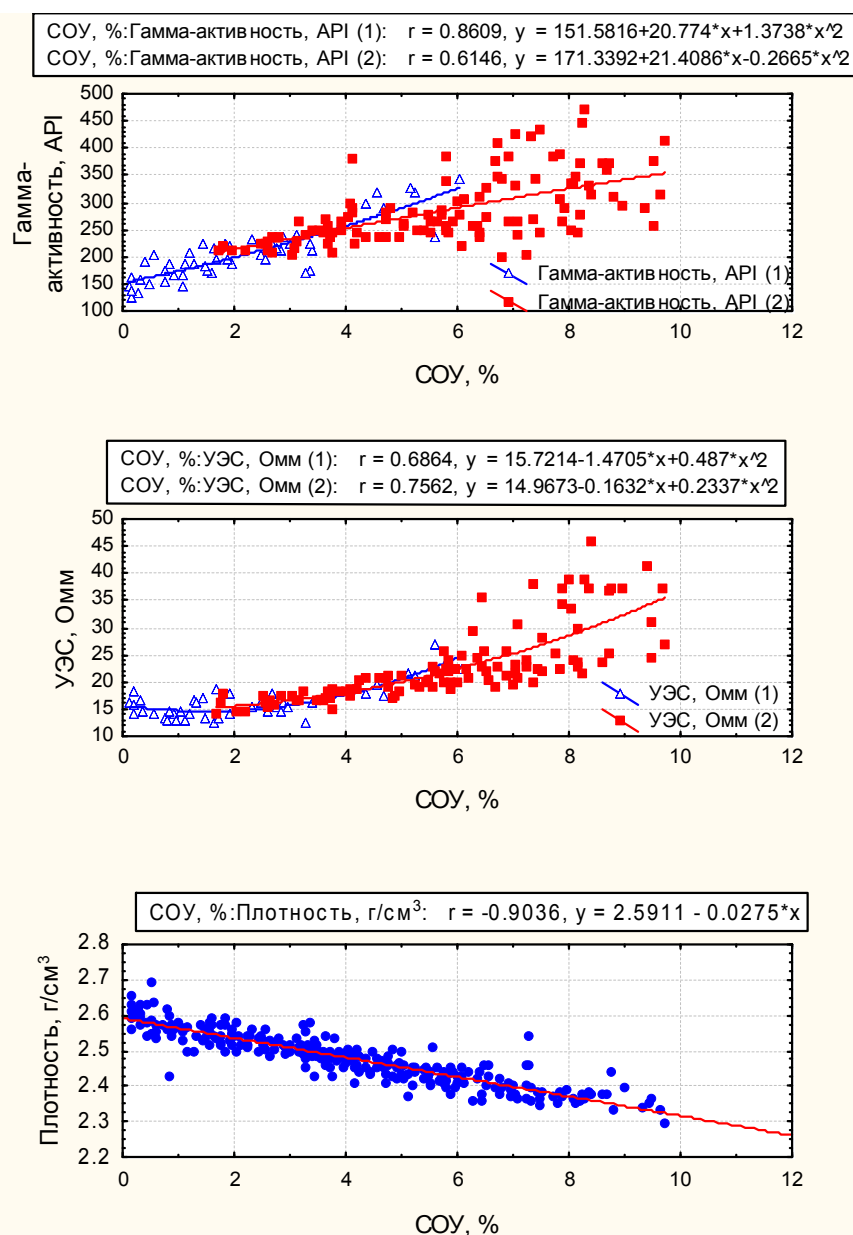


Рис. 5. Графики зависимостей свойств глинистых отложений формации Утика от содержания в их составе органического углерода (сверху вниз):

радиоактивность в условных API единицах от COY, $r = 0.79$ (10 API \approx 1мкР/час); удельное электрическое сопротивление от COY, $r = 0.78$; объемная плотность от COY, $r = -0.9$; сланцы, обозначенные на графиках треугольниками, характеризуются карбонатно-глинистым составом с более низким содержанием ОВ

Графики, построенные по данным анализов кернового материала из штата Огайо, отличаются меньшим числом "ураганных" значений и более тесными зависимостями, так как весь керн был отобран из интервалов одной формации.

Для лабораторных анализов нижне- и среднекаменноугольных отложений ДДв были выбраны аргиллиты (70%), алевролиты (20%) и другие литотипы (до 10%) отобранные с площадей Керносовская, Артемовская, Дробышевская, Комышевахская, Богатойская и Святогорская. Абсолютное большинство образцов можно охарактеризовать как алевропесчанистые аргиллиты и алевролиты со значительной частью глинистой компоненты, со скоплениями пирита и с многочисленными обугленными остатками растительности. Образцы кернового материала соответствуют наиболее перспективным литотипам формации Утика (см. рис. 3). Анализы были выполнены в научных лабораториях Киевского национального университета имени Тараса Шевченко.

На рис. 6, 7 приведены наиболее интересные, на наш взгляд, зависимости петрофизических характеристик средне- и нижнекаменноугольных пород ДДв от содержания органического углерода. Следует отметить, что выборки образцов горных пород здесь были сформированы из разрезов скважин разных месторождений, в отличие от выше рассмотренной коллекции формации Утика (практически одно месторождение). Поэтому, естественно, петрофизические связи для ДДв выглядят значительно слабее, что обусловлено существенным влиянием других факторов – вариаций пористости, глинистости, минерального состава пород.

Кроме определения содержания органического углерода в образцах были получены и проанализированы данные анализов общего содержания керогена. Наличие остатков палеофауны практически во всех образцах свидетельствует о том, что исследуемый кероген соответствует второму типу. При этом параметры отношения содержания органического углерода к плотности атомов водорода и кислорода $[C]:[H]:[O]$ составили 43,5 и 43,5 соответственно [9].

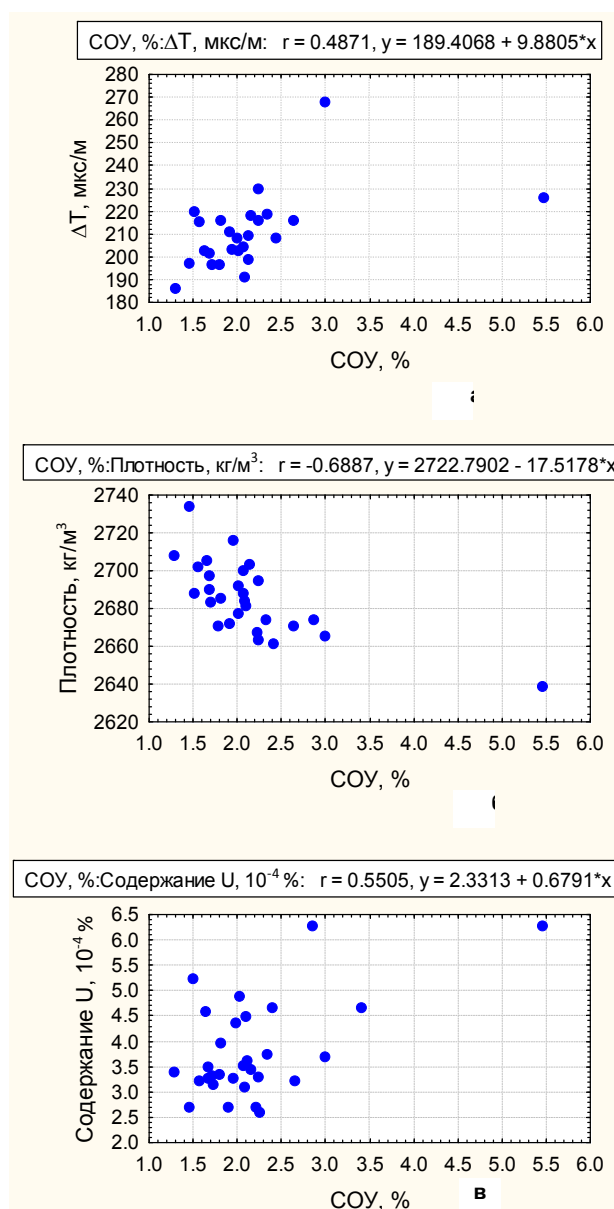


Рис. 6. Графики зависимости петрофизических характеристик средне- и нижнекаменноугольных пород ДДв от содержания органического углерода:

а – интервальное время прохождения продольной волны от COU, $r = 0.49$; б – объемная плотность от COU, $r = -0.69$; в – содержание урана от COU, $r = 0.55$

Петрофизические зависимости, полученные по керновым данным из нефтегазоносной формации Утика:

$$\sigma_n = 2.591 - 0.027 \cdot \text{COU}, \quad r = -0.9 \quad (1)$$

$$\rho_n = 14.72 - 0.127 \cdot \text{COU} + 0.234 \cdot \text{COU}^2, \quad r = 0.78 \quad (2)$$

$$\gamma = K \cdot (162.9 + 20.95 \cdot \text{COU}), \quad r = 0.78 \quad (3a)$$

$$\gamma = K \cdot (185.6 \cdot \text{COU}^{0.238}), \quad r = -0.81, \quad (36)$$

где COU – содержание органического углерода, %; σ_n – объемная плотность породы, г/см³; ρ_n – удельное электрическое сопротивление, Ом·м; γ – радиоактивность, API; $K \approx 12.76$ для обсаженного ствола скважины, $K \approx 10$ для необсаженного ствола скважины; r – коэффициент парной линейной корреляции / корреляционное отношение – для нелинейных зависимостей.

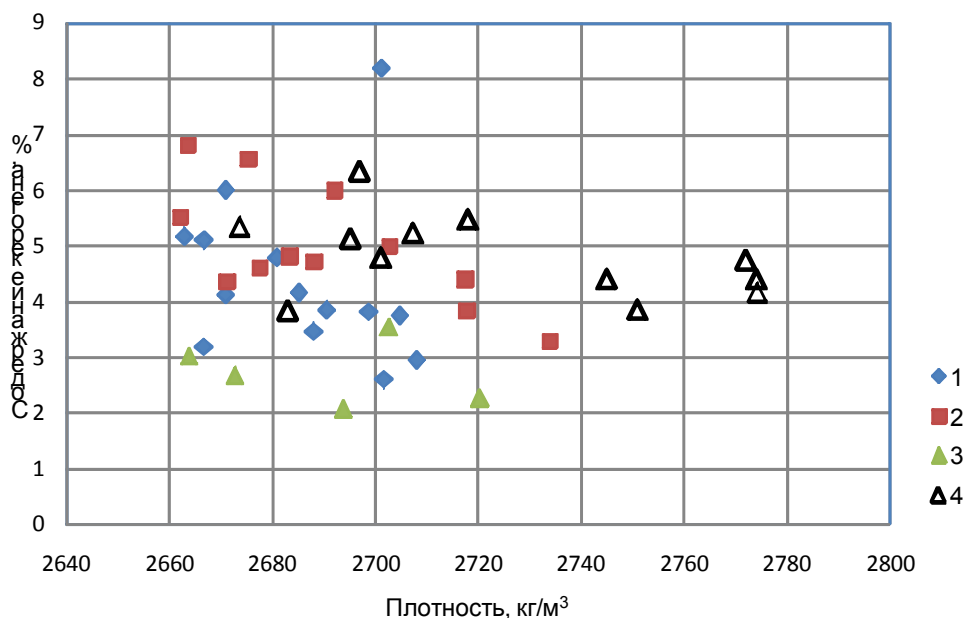


Рис. 7. Зависимость между объемной плотностью сланцевых глинистых горных пород (насыщенных пластовой водой) и содержанием керогена (отложениям нижнего карбона ДДв):

1 – московский ярус; 2 – башкирский ярус; 3 – серпуховский ярус; 4 – нижневизейский подъярус

Зависимости, полученные по данным лабораторных исследований керна из средне- и нижнекаменноугольных отложений ДДв:

$$\sigma_n = 2722.8 - 17.518 \cdot \text{COU}, \quad r = -0.69 \quad (4)$$

$$U = 2.33 + 0.679 \cdot \text{COU}, \quad r = 0.55 \quad (5)$$

$$\Delta T = 189.4 + 9.88 \cdot \text{COU}, \quad r = 0.49, \quad (6)$$

где σ_n – объемная плотность породы, кг/м³; U – содержание урана, $\cdot 10^{-4}$ %; ΔT – интервальное время прохождения продольной акустической волны, мкс/м.

Также были получены выражения отдельно для серпуховских (7), московских (8), нижневизейских (9) отложений в виде зависимостей объемной плотности от содержания органического углерода в сланцевых глинистых породах:

$$\sigma_n = 28.9056 - 0.0088 \cdot \text{COU}, \quad r = -0.65 \quad (7)$$

$$\sigma_n = 91.6784 - 0.0322 \cdot \text{COU}, \quad r = -0.41 \quad (8)$$

$$\sigma_n = 2.7271 - 0.0194 \cdot \text{COU}, \quad r = -0.55 \quad (9)$$

Результаты, выводы, дальнейшие направления исследований. Подтверждено по результатам статистического анализа, что черные углистые и темно-серые алевро-песчаные сланцеватые аргиллиты являются породами, наиболее богатыми керогеном, который, в свою очередь, характеризуются наивысшими значениями водородного индекса. Следует отметить, что значения водородного и кислородного индексов в нижнекаменноугольных отложениях ДДв предполагают наличие исключительно низкомолекулярных продуктов генерации УВ. Карбонатно-глинистые сланцы не столь богаты ОВ и, как показы-

вают "западные" исследования, специфика распределения керогена в породе зачастую негативно сказывается на связанном поровом пространстве, образованном в процессе катагенетических преобразований. По данным исследований керна из средне- и нижнекаменноугольных отложений ДДв получены математические зависимости радиоактивности, содержания урана, объемной плотности и удельного электрического сопротивления от содержания органического углерода. По результатам лабораторных исследований образцов керна из средне- и нижнекаменноугольных отложений ДДв получены математические выражения, описывающие зависимости содержания урана, интервального времени пробега поперечной волны и объемной плотности от содержания органического углерода. Уточненные выражения, описывающие изменение объемной плотности от содержания органического углерода были получены для серпуховских, московских и нижневизейских отложений ДДв. Теснота математической связи между физическими свойствами и COU не соответствует той, которую можно использовать для точного определения COU в отложениях ДДв, что объясняется фациальным разнообразием сланцевых пород. Логическим продолжением данных исследований будет изучение отдельных черносланцевых формаций ДДв с более представительными выборками керна. Это, в свою очередь, приведет к получению петрофизических моделей, пригодных для количественной диагностики потенциальных газосланцевых толщ по данным лабораторных и геофизических исследований.

Список використаних джерел:

1. Баженова О.К., Бурлин Ю.К., Соколов Б.А., Хаин В.Е., (2012). Геология и геохимия нефти и газа. Издательство Московского университета, 432.
2. Bazhenova O.K., Burlin U.K., Sokolov B.A., Hain V.E., (2012). Geology and geochemistry of oil and gas [Geologia i geokhimiya nefiti i gaza]. Moscow University Publishing, 432 (In Russian).
3. Петтиджон Ф., (1981). Осадочные породы. Москва: Недра, 750.
4. Pettijohn F., (1981). Sedimentary Rocks [Osadochnie porody]. Moscow: Nedra, 750 (In Russian).
5. Fertl H., Walter, Chillingar V., (1988). Total Organic Carbon Content Determined From Wireline Well Logs. *SPE Formation Evaluation*, 407-419.
6. Leventhal J.S., Goldhaber M.B., (1978). New Data for Uranium, Thorium, Carbon and Sulfur in Devonian Black Shale From West Virginia, Kentucky and New York. *UNITED STATES DEPARTMENT OF THE INTERIOR GEOLOGICAL SURVEY*, 43.
7. Mann G.P., Fyfe W.S., (1984). An Experimental Study of Algal uptake U, Ba, V, Co and Ni from dilute solution. *Chemical Geology*, 44, 385-398.
8. Mendelson J.D., Toksoz M.N., (1985). Source Rock Characterization Using Multivariate Analysis of Log Data. 26th Society of Petrophysicists and Well Log Analysts *Annual Logging Symposium*, paper UU.
9. Meyer B.L., Nederlof M.H., (1984). Identification of Source rock on wireline logs by Density / Resistivity and sonic transit Time / Resistivity Crossplots. *AAPG Bulletin*, 121-129.
10. Mendelson J.D., (1985). Petroleum Source Rock Logging. *Massachusetts Institute of Technology*, 96.
11. Murphy M., Daniels J., Cole D., Sheets J., Welch S., (2012). Pore Distribution in the Ordovician Shale of the Utica/Point Pleasant Sub-Basin. *Search and Discovery*, Article # 50605, May, 28, 11.
12. Passey Q.R., Creaney S., Kulla J.B., Moretti F.J., Stroud J.D.A., (1990). Practical Model for Organic Richness from Porosity and Resistivity Logs. *AAPG Bulletin*, V.74, No.12, December, 1777-1794.
13. Swenson V.E., (1969). Theoretical relationship between density and oil yield for oil shales. *USBM professional paper*, 356-A, 1-44.

Надійшла до редколегії 01.08.13

I. Karpenko, Research Associate,
E-mail: i.karpenko@petroply.com, Tel.: +38(093)601-08-57
CEO at PETROPLY Research & Consulting Ltd

LITHOLOGIC AND GEOPHYSICAL PROPERTIES OF SHALE WITH A HIGH CONTENT OF KEROGEN

The key features of unconventional shale hydrocarbon accumulations include the following: a) all source rocks act as low permeability oil and gas reservoir rocks requiring no cover rock; b) effective pore space is distributed within the bulk of mature kerogen resulting from katagenetic transformations in organic material. Evaluating the properties of reservoir rocks with a high content of kerogen attracts a lot of interest due to new approaches to unconventional hydrocarbon exploration and the challenge of applying the technology of hydraulic fracturing in low-permeability formations.

This research into the lithological and physical properties of facies with a high kerogen content was prompted by a correlation between the sedimentary features of the proven productive shale formations and similar formations of different ages in the Dnieper-Donets basin. The sedimentary conditions of shale formation in DDb being similar to those of forming oil and gas producing shales with a high content of kerogen in Utica/Point Pleasant paleobasins, the highest kerogen content was assumed to be associated with certain lithotypes holding interest for further study. Mathematical equations were derived to describe the correlation between radioactivity, uranium content, bulk density, electrical resistivity and organic carbon content for shales from the Utica formation and the DDb shales. There were clarified mathematical dependences of bulk density on organic carbon content for a number of Lower Carboniferous formations in DDb. As using separate mathematical expressions is likely to produce results of doubtful validity, preference should be given to a system of equations to describe the nature of changes in different physical properties of shales depending on the organic component content. That will provide accurate data on the share of kerogen in the studied reservoir rocks. Values of hydrogen and oxygen indices only predict low molecular weight products and their subsequent extraction. The findings on the lithological properties and mathematical relationships have been reported and discussed at international conferences.

Keywords: hydrocarbons, kerogen, organic carbon content, shale, sonic log, radioactivity, resistivity log, bulk density log, component composition.

I. Карпенко, мол. наук. співроб.
E-mail: i.karpenko@petroply.com, Тел.: +38(093)601-08-57
ДП "НДІ нафтогазової промисловості"
"НАК "Нафтогаз України"

ЛІТОЛОГО-ГЕОФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ СЛАНЦЕВИХ ПОРІД З ПІДВИЩЕНИМ ВМІСТОМ КЕРОГЕНУ

До особливостей неконвенційних сланцевих зосереджень вуглеводнів відносяться в першу чергу: а) нафтогазогенеруючі породи виступають у ролі малопрониклих нафтогазоносних порід-колекторів, які не потребують флюїдоупорів; б) ефективний поровий простір розподілений власно в об'ємі керогену, створеного в процесі катагенетичних перетворень органічної речовини (ОР). Вивчення та уточнення подібних порід-колекторів з підвищеним вмістом керогену викликано необхідністю застосування нових підходів до геологорозвідувальних робіт та у зв'язку з необхідністю застосування технології гідророзриву пласта в формаціях, які характеризуються низькою проникністю. Співставлення стратиграфічних і седиментаційних особливостей сланцевих формацій з підтвердженою продуктивністю та схожих різновікових формацій Дніпровсько-Донецької западини дає привід і мотивацію до вивчення літологічних і фізичних властивостей літофацій з підвищеним вмістом керогену. В силу подібності умов утворення нафтогазоносних сланців з підвищеним вмістом керогену в палеобасейнах Утіка/Пойнт Плезант та умов формування деяких формацій в ДДз були виділені літо-типи з найбільшим вмістом керогену як перспективні для подальших досліджень. Були отримані математичні залежності радіоактивності, об'ємної щільності та питомого електричного опору від вмісту органічного вуглецю для нафтогазоносних відкладів формації Утіка та різновікових відкладів ДДз, зокрема нижньокам'яновугільних відкладів ДДз. Використання лише окремого отриманого математичного виразу (залежності) не дає задовільних результатів. Допустима виключно комбінація у вигляді системи рівнянь, що описують характер зміни різних фізичних властивостей сланців від вмісту в них органічної компоненти, для отримання достатньо надійних результатів визначення частки керогену у складі досліджуваних порід-колекторів. Величини водневого та кисневого індексів дають привід прогнозувати виключно низькомолекулярні продукти генерації і подальше їх вилучення. Отримані висновки про літологічні властивості і математичні залежності були застосовані в наукових дослідженнях, результати яких вже докладені на міжнародних конференціях і будуть опубліковані в декількох статтях.

Ключові слова: вуглеводні, кероген, вміст органічного вуглецю, сланці, акустичний каротаж, радіоактивність, електричний опір, об'ємна щільність, компонентний склад.