УДК 553.98

В.Ю. Керимов
д-р геол.-мин. наук
профессор
РГУ нефти и газа
им. И.М. Губкина[1]
заведующий кафедрой
теоретических основ поисков
и разведки нефти и газа
vagif.kerimov@mail.ru

Г.Я. Шилов
д-р геол.-мин. наук
профессор
член-корреспондент РАЕН
РГУ нефти и газа
им. И.М. Губкина[1]
ведущий научный
сотрудник
genshilov@iskratelecom.ru

Л.В. Люкшина
РГУ нефти и газа
им. И.М. Губкина[1]
инженер кафедры
теоретических основ
поисков и разведки нефти
и газа
ljuba1311@gmail.com

С.С. Дмитриевский
РГУ нефти и газа
им. И.М. Губкина[1]
инженер первой категории
кафедры теоретических
основ поисков и разведки
нефти и газа
stanislav.s.dmitrievskiy@mail.ru

Оценка содержания $C_{орг}$ в сланцевых отложениях хадумского горизонта Предкавказья с использованием результатов ГИС

[1]Россия, 119296, Москва, Ленинский проспект, 65

На основе анализа геофизических и геохимических характеристик сланцевых низкопроницаемых коллекторов хадумского горизонта Предкавказья предложен методический подход для оценки в них значений $C_{орг}$ по данным гамма-каротажа. Это существенно расширяет возможности для непрерывной оценки $C_{орг}$ в разрезах скважин, т.к. отбор керна ограничен. Появляется возможность более оперативно выделять перспективные зоны хадумских отложений для поисков в них залежей УВ

Ключевые слова: хадумский горизонт Предкавказья; глинистые трещиноватые коллектора; количество органического вещества; гамма–каротаж; нефтегазоносность

Оценка $C_{орг}$ при геохимических исследованиях разрезов скважин производится с помощью пиролиза, что позволяет анализировать содержание углерода органического происхождения с высокой точностью. Однако его применение ограничено выносом керна. Чтобы увеличивать вертикальную разрешающую способность оценки $C_{орг}$ на практике прибегают к использованию различных методов ГИС. Основанием для этого служат литологические и геофизические свойства сланцев. **Сланцевые пласты** – богатые органическими веществами, обладающие низкой плотности по сравнению с аргиллитами: обогащенный ОВ – имеет высокое показание *гамма-каротажа (ГК)*; насыщенный нефтью и газом – повышенное *сопротивление*; насыщенный газом – обладает высоким показанием *акустического каротажа (АК)* и имеет, как правило, низкое содержание водорода, что приводит к повышению показаний *нейтронного каротажа (НК)*.

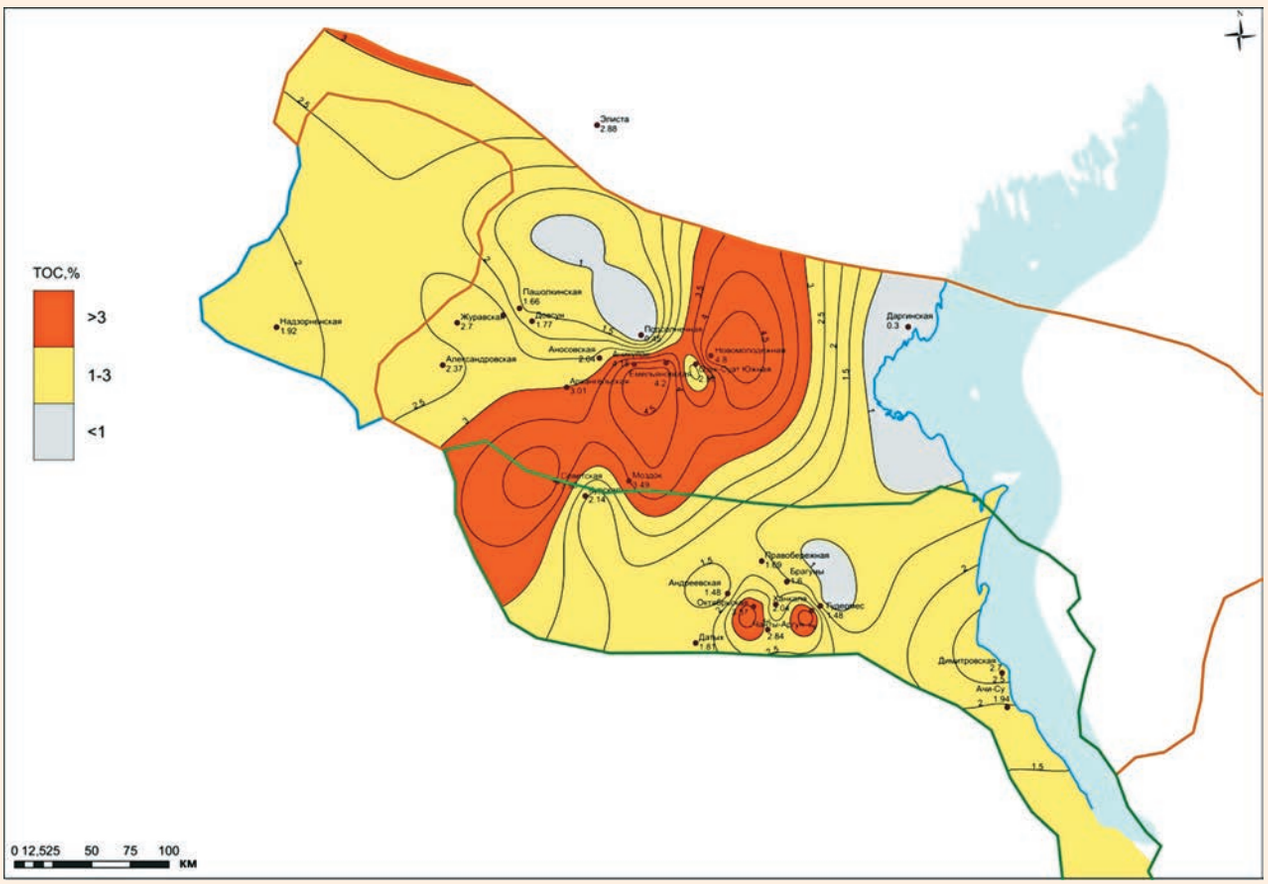
Эти свойства успешно были использованы американскими учеными *M.P. Tixier*,

M.R. Curtis, *Schmoker*, *B.L. Meyer*, *Mendelson*, *Passey*, *Zehui Huang* и другими. В 1967 г. *M.P. Tixier*, *M.R. Curtis* с помощью плотностного каротажа (ГГК-п) и АК прогнозировали $C_{орг}$ нефтяного сланца бассейна *Piceance Creek* Западной Каролины США. В 1981 г. другой американский ученый *Schmoker* с помощью ГК и ГГМ-п оценил $C_{орг}$ сланца девонской свиты в Аппалачском бассейне [10]. В 1984 г. *B.L. Meyer* и др. определили нефтегазоматеринские породы путем сочетания ГГМ-п с электрическим каротажем (ЭК) и сочетания АК с ЭК. В 1985 г. *Mendelson* и другие ученые путем сочетания АК-НК-ГК подсчитывали объем органического вещества. В 1990 г. *Passey* предложил метод $\Delta LogR$, с помощью АК, ГГМ-п, НК, ЭК, не только определил сланец, который обогащен органическим веществом, но и количественно оценил содержание углерода органического происхождения. В 1996 г. *Zehui Huang* методом нейронной сети, сочетанием ГМ, НК, диаграмм ГГМ-п, установил количественную связь между $C_{орг}$ и физическими свойствами породы, которые определяются с использованием методов ГИС.

Проведенные нами исследования показали, что наилучшими перспективами для оценки $C_{орг}$ в горных породах имеет гамма-каротаж (ГК), регистрирующий гамма-активность пород. Известно, что большинство естественных радиоактивных изотопов, распространенных в горных породах, относятся к семействам урана, актиния и тория. При этом следует указать на такую важнейшую геохимическую особенность урана, как его высокую миграционную способность, благодаря образованию хорошо растворимого уранил-иона UO^{2+}. Вообще, содержание урана в породах характеризует восстановительные условия и наличие углерода органического происхождения.

При изучении глинистых сланцев исследования по спектрометрии естественного гамма-излучения, метод ГК можно использовать для оценки содержания органогенного углерода. Относительно высокая радиоактивность глинистых сланцев объясняется повышенной сорбцией урана на глинистых частицах, присутствием минералов шестивалентного урана и образованием в условиях восстановительной среды четырехвалентного урана. Возможна также значительная адсорбция ионов ура-

Рис. 1.
Схема районирования по содержанию ТОС в хадумских отложениях Центрального и Восточного Предкавказья



на из природных вод, где они присутствуют в различных соединениях.

Разработанный нами методический подход к оценке содержания $C_{орг}$ в сланцевых отложениях с использованием результатов ГИС был опробован на примере хадумской свиты Предкавказья. В качестве нефтегазоносных сланцев авторы статьи, согласно исследованиям О.М. Прищепы и соавторов (2014), принимают целый ряд твердых, многослойных пелитовых пород (глина, мергель, глинистый известняк, аргиллит, алевролит и собственно сланец), вмещающих всевозможные формы ОВ, отражающие стадии его зрелости. Отличаясь текстурными характеристиками от других пелитовых пород, сланцы способны расщепляться на пластинки. Важной отличительной особенностью скоплений в сланцевых (*shale reservoir*) и в плотных (*tight reservoir*) коллекторах является то, что УВ находятся в рассеянном состоянии в породах с низкой проницаемостью матрицы (Морариу, 2013). Нефть и газ в таких породах располагаются преимущественно в диффузно рассеянном состоянии в микротрещинах.

Геохимические исследования отложений олигоцена Предкавказья показали, что здесь они отлагались в восстановительной обстановке. Органическое вещество представлено тонкодисперсными образованиями сапропелевой природы и в меньшей степени – включениями гумусово-лигнитового материала. Следует отметить, что структура глинистых (сланцевых) пород хадумской свиты Предкавказья по данным исследования керна определена как алевролито-пелитовая – за счет наличия в основной пелитовой массе в качестве породообразующего элемента рассеянного органического вещества. Присутствующее органическое вещество представлено в основном тремя морфологическими формами: дисперсное, прожилки аморфного «гумусоподобного» вещества и углистые частички алевритовой размерности. В образцах пород, однако, резко доминирует тонкодисперсное органическое вещество.

Проведенные исследования свидетельствуют о высоких нефтематеринских свойствах и позволяют высоко оценивать перспективы поисков как традиционных, так и нетрадиционных (сланцевых) ресурсов УВ хадумских отложений в Центральном и Восточном Предкавказье. Согласно результатам

Подписка на журнал
«Недропользование XXI век»

Подписаться – ПРОСТО и ДЕШЕВО:

– зайти на сайт **www.naen.ru**
– распечатать и заполнить квитанцию
– оплатить подписку в любом отделении любого банка

Мы пришлем вам готовую к оплате квитанцию,
если вы заполните на сайте форму «Заявка на подписку»

Стоимость годовой подписки:
на печатную версию – 6000 руб.
на электронную версию – 5400 руб

Члены Евразийского союза экспертов по недропользованию
могут оформить льготную (50%) подписку
на электронную версию журнала,
обратившись в редакцию по адресу info@naen.ru

Для студентов, аспирантов и преподавателей ВУЗов существует
льготная годовая подписка на электронную версию (2400 руб.)

От **юридических** лиц ждем реквизиты (карточку предприятия)
для выставления счета.

Телефон отдела подписки: 8 (495) 780 33 12

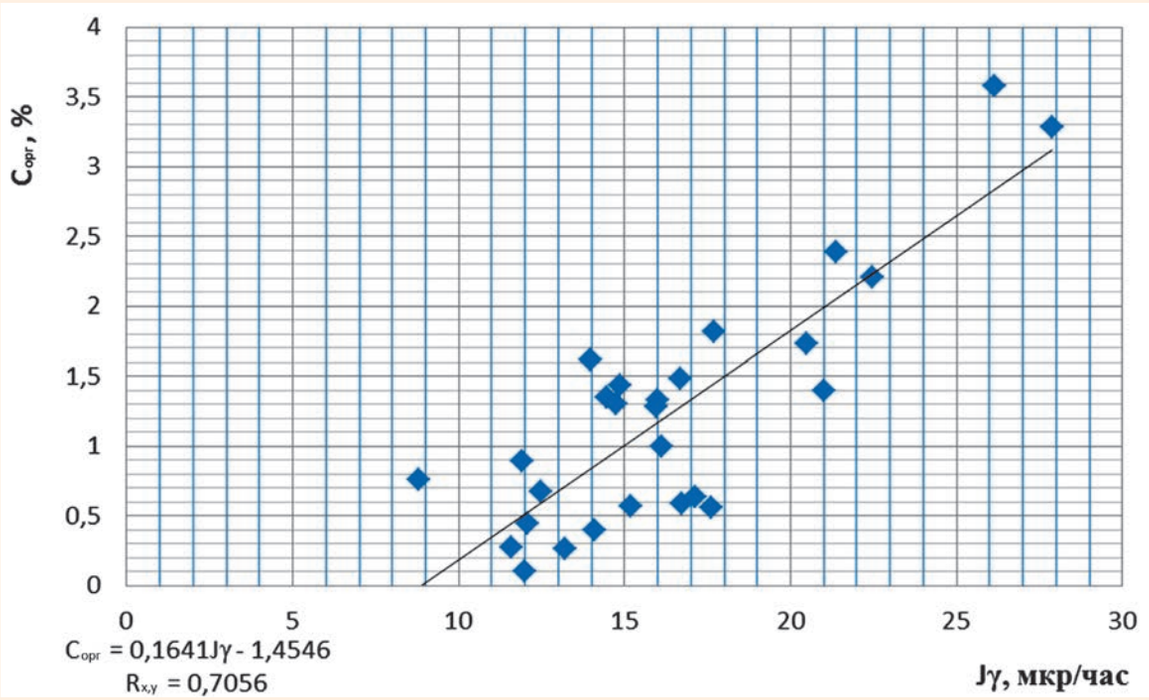
Оформляя подписку через подписные агентства,
указывайте индекс нашего журнала:
81974 – в каталоге «Газеты. Журналы» Агентства «Роспечать»
86297 – в Объединенном каталоге «Пресса России»

химико-битуминологических исследований различных авторов [1–6 и др.], содержание $C_{орг}$ в образцах хадумских и баталпашинских отложений варьирует от 0,26% (пшехские известняки в скв. Довсунская-4) до 8,35% (глины остракодового горизонта в скв. Емельяновская-1). Модальное значение $C_{орг}$ для всех исследованных образцов пиролитическим методом на установке *Rock-Eval* (226 образцов) составляет 2,11%. Среднее значение содержания $C_{орг}$ для хадумских отложений – 2,26%. С увеличением степени карбонатизации пород содержание $C_{орг}$ снижается. Минимальные значения отмечены для известняков (0,25%). Наиболее высокие средние значения $C_{орг}$ характерны для глин и мергелей остракодового горизонта – 4,46%. Закономерности изменения концентраций $C_{орг}$ по площади исследуемого региона представлены на ***рис. 1***. На схеме районирования содержания ТОС в хадумских отложениях (***рис. 1***) видно, что зона максимальных значений $C_{орг}$ (более 3–4%) протягивается в диагональном направлении от северо-западной центриклинали Терско-Каспийского прогиба (Советская, Курская площади) на северо-восток в сторону Восточно-Манычского прогиба через центральную часть Прикумского вала (Ачикулакская, Емельяновская, Новомолодежная площади). Отдельные локальные максимумы концентраций $C_{орг}$ (порядка 2–3%) отмечаются в восточных районах Терско-Сунженской складчатой зоны (Октябрьская, Ханкальская площади) и Предгорного Дагестана (Димитровская площадь).

По классификации *K.E. Peters* (1986) и геологов Французского института нефти (*IFP*), хадумские отложения Восточного и Центрального Предкавказья могут быть охарактеризованы преимущественно как «богатые» ($C_{орг} \geq 1–3\%$) и «очень богатые» ($C_{орг} > 3\%$) нефтематеринские породы. Зона распространения «очень богатых» хадумских нефтематеринских отложений узкой диагональной полосой пересекает исследуемый регион в направлении с юго-запада на северо-восток (***рис. 1***). Здесь значения ТОС достигают до 4% и более. Отдельные локальные участки развития «очень богатых» хадумских нефтематеринских пород также фиксируются в пределах Терско-Сунженской зоны. На преобладающей части исследуемой территории изучаемые отложения могут быть отнесены к классу «богатых» нефтематеринских пород. Лишь на некоторых локальных участках (северо-западное обрамление Ставропольского свода, западное обрамление Каспия, западная часть Сулакской впадины) изучаемые отложения классифицируются как «средние» по содержанию $C_{орг}$ (менее 1%) нефтематеринские породы.

В работе в качестве метода ГИС при комплексировании геохимических и геофизических методов для оценки $C_{орг}$ был использован

Рис. 2.
Корреляционная зависимость между $C_{орг}$ и показаниями ГК для скважин Предкавказья



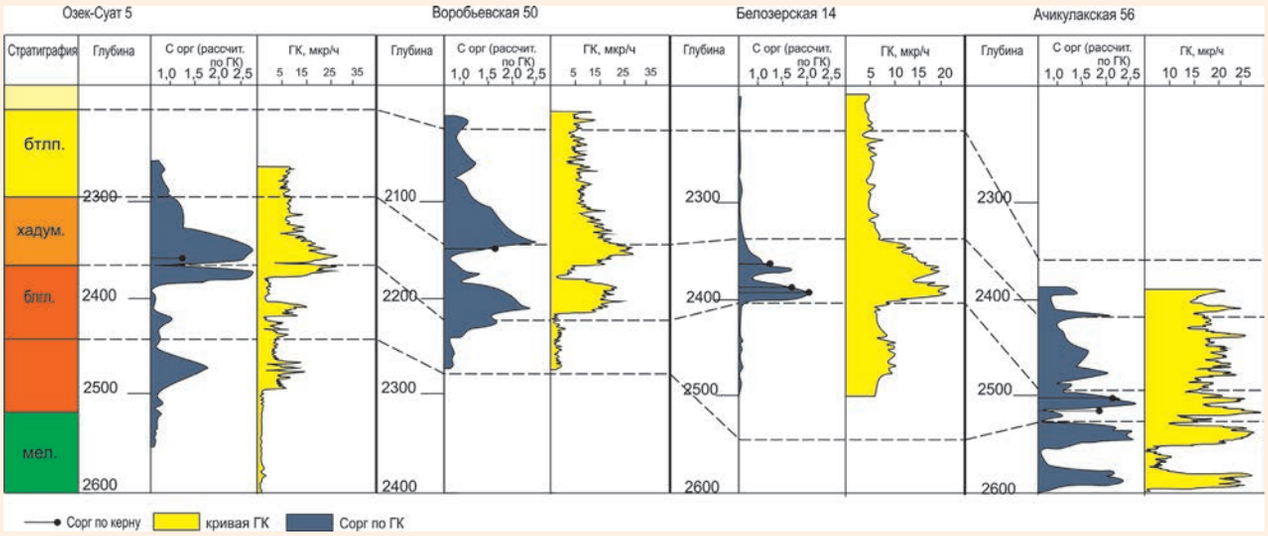


Рис. 3.
Определение $C_{орг}$ по данным гамма-каротажа (ГК) для хадумских отложений скв. № 5 Озек-Суат, № 50 Воробьевская, № 14 Белозерская и № 56 Ачикулакска

метод гамма-каротажа. Для этого было проведено сопоставление данных $C_{орг}$ по керну с показаниями гамма-каротажа по разрезу некоторых скважин Предкавказья (***рис. 2***). Так как использованные данные $C_{орг}$ по керну и показаний ГК (Jгк) для рассматриваемых хадумских отложений представляли выборку небольшего объема (27 определений), то коэффициент корреляции R_{xy} между ними определялся по известной формуле:

$$R_{xy} = N\sum xiyi - \sum xi \sum yi / \sqrt{N\sum xi^2 - (\sum xi)^2}\sqrt{N\sum yi^2 - (\sum yi)^2} \quad (1)$$

Как видно из представленных данных, значения $C_{орг}$ (27 измерений на керне) хорошо коррелируются с показаниями гамма-каротажа (ГК). Формула связи в соответствии с выражением (1) имеет вид:

$$C_{орг} = 0{,}1641\ Jгк - 1{,}4546\ , \quad (2)$$

где 0,1641 и 1,3546 – эмпирические коэффициенты (для данной выборки). При этом коэффициент корреляции здесь составил R_{xy}= 0, 7056.

На ***рис. 3*** приведен пример оценки $C_{орг}$ по данным ГК для хадумских отложений. Для сравнения здесь же показаны оценки $C_{орг}$ по керну. Как видно из приведенных данных, наблюдается хорошее совпадение оценок $C_{орг}$ по ГК и керну. Таким образом, для непрерывной оценки $C_{орг}$ в разрезе хадумских отложений площадей Предкавказья был применен ГК по вышеизложенной методике, что повышает эффективность ГРР.

Выводы

1. При оценке $C_{орг}$ сланцевых коллекторов хадумского горизонта Предкавказья достаточно эффективным для практических целей оказалось применение комплекса ГК (гамма-каротаж) и лабораторных геохимических определений $C_{орг}$, что обеспечивает непрерывную оценку $C_{орг}$ в разрезах скважин, даже в тех интервалах, где керн отбирался в ограниченных количествах.

2. Для использования данного подхода оценки $C_{орг}$ в других регионах необходимо устанавливать корреляционные связи между геофизическими параметрами, в том числе и между показаниями ГК, и параметром $C_{орг}$ по керну с учетом конкретных геологических особенностей изучаемых сланцевых коллекторов.

Литература

1. Орел В.Е., Распопов Ю.В., Скрипкин А.Н. и др. Геология и нефтегазоносность Предкавказья. М.: ГЕОС. 2001. 299 с.
2. Добрынин В.М., Вендельштейн В.Ю., Кожевников Д.А. Петрофизика. М.: Недра. 1991. 368 с.
3. Керимов В.Ю., Яндарбиев Н.Ш., Мустаев Р.Н., Дмитриевский С.С. Оценка генерационного потенциала и геологических ресурсов углеводородов сланцевых низкопроницаемых толщ майкопской свиты //Труды РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина. 2016. № 1/282.
4. Керимов В.Ю., Мустаев Р.Н., Дмитриевский С.С., Яндарбиев Н.Ш., Козлова Е.В. Перспективы поисков скоплений углеводородов в сланцевых низкопроницаемых толщах хадумской свиты Предкавказья //Нефтяное хозяйство. 2015. № 10.

5. Керимов В.Ю., Шилов Г.Я., Мустаев Р.Н., Дмитриевский С.С. Термобарические условия формирования скоплений углеводородов в сланцевых низкопроницаемых коллекторах хадумской свиты Предкавказья //Нефтяное хозяйство. 2016. № 2. С. 8–11.
6. Керимов В.Ю., Мустаев Р.Н., Серикова У.С. Проектирование поисково-разведочных работ на нефть и газ. Учебное пособие. М.: ИНФРА-М. 2015.
7. Прищепа О.М., Аверьянова О. Ю., А. А. Ильинский, Д. Морариу. Нефть и газ низкопроницаемых сланцевых толщ – резерв сырьевой базы углеводородов России. СПб.: ВНИГРИ. 2014.
8. Яндарбиев Н.Ш., Бачин С.И., Моллаев З.Х. и др. Прогноз нефтегазоносности юрских отложений в западной части Терско-Каспийского прогиба на основе бассейнового моделирования //Геология нефти и газа. 2014. № 3. С. 9–18.
9. Pelet R. 1985. Evaluation quantitative des produits formés lors de l'évolution géochimique de la matière organique. Rev. d'Institut Francais du Pétrole, 1985, v. 40, № 5, p. 551–56.
10. SchmokerJW. Определение содержания органического вещества девонских сланцев бассейна Аппалачи из ГМ. ААГН Бюллетень, 1981, 65 (7): 1285-1298.

UDC 553.98

V.Yu. Kerimov, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor, Head of the Department of Theoretical Foundations of Prospecting and Exploration of Oil and Gas of Gubkin Russian State University of Oil and Gas[1], vagif.kerimov@mail.ru
G.Ya. Shilov, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor, Leading Researcher of Gubkin Russian State University of Oil and Gas[1], genshilov@iskratelecom.ru
L.V. Lyukshina, Engineer of the Department of Theoretical Foundations of Prospecting and Exploration of Oil and Gas of Gubkin Russian State University of Oil and Gas[1], ljuba1311@gmail.com
S.S. Dmitrievskiy, Engineer of the First Category of the Department of Theoretical Foundations of Prospecting and Exploration of Oil and Gas of Gubkin Russian State University of Oil and Gas[1], stanislav.s.dmitrievskiy@mail.ru

[1]65 Leninsky Prospect, Moscow, 119296, Russia.

The Contents of TOC in Shale Sediments Khadum Horizon Ciscaucasia, Using the Results of the GIS

Abstract. Based on the analysis of geophysical and geochemical characteristics of shale reservoir rock Khadum horizon Ciscaucasia offered methodical approach the contents of TOC by using gamma–ray logging. This greatly expands the possibilities for continuous assessment TOC in boreholes as coring limited. It becomes possible to more efficiently give off perspective area Khadum sediments for searches of hydrocarbon deposits

Keywords: Khadum horizon Ciscaucasia; clay fractured reservoir; Total Organic Carbon; gamma–ray logging; hydrocarbon potential

References

1. Orel V.E., Raspopov Iu.V., Skripkin A.N. i dr. *Geologiia i neftegazonosnost' Predkavkaz'ia* [Geology and oil and gas content of Ciscaucasia]. Moscow, GEOS Publ., 2001, 299 p.
2. Dobrynin V.M., Vendel'shtein V.Iu., Kozhevnikov D.A. *Petrofizika* [Petrophysics]. Moscow, Nedra Publ., 1991, 368 p.
3. Kerimov V.Iu., Iandarbiev N.Sh., Mustaev R.N., Dmitrievskii S.S. *Otsenka generatsionnogo potentsiala i geologicheskikh resursov uglevodorodov slantsevykh nizkopronitsaemykh tolshch maikopskoi svity* [Estimation of generation potential and geological resources of hydrocarbons of the shale low-permeability strata of the Maikop suite]. *Trudy RGU nefti i gaza imeni I.M. Gubkina* [Proceedings of the Russian State University of Oil and Gas named after I.M. Gubkin], 2016, no. 1/282.
4. Kerimov V.Iu., Mustaev R.N., Dmitrievskii S.S., Iandarbiev N.Sh., Kozlova E.V. *Perspektivy poiskov skoplenii uglevodorodov v slantsevykh nizkopronitsaemykh tolshchakh khadumskoi svity Predkavkaz'ia* [Prospects for the search for hydrocarbon accumulations in the shale low-permeability strata of the Khadum Formation of the Ciscaucasia]. *Neftianoe khoziaistvo* [Oil industry], 2015, no. 10.
5. Kerimov V.Iu., Shilov G.Ia., Mustaev R.N., Dmitrievskii S.S. *Termobaricheskie usloviia formirovaniia skoplenii uglevodorodov v slantsevykh nizkopronitsaemykh kollektorakh khadumskoi svity Predkavkaz'ia* [Thermobaric conditions for the formation of hydrocarbon accumulations in the shale low-permeability reservoirs of the Khadum Formation of the Ciscaucasia]. *Neftianoe khoziaistvo* [Oil industry], 2016, no. 2, pp. 8–11.
6. Kerimov V.Iu., Mustaev R.N., Serikova U.S. *Proektirovanie poiskovo-razvedochnykh rabot na neft' i gaz* [Design of exploration for oil and gas]. Moscow, INFRA-M Publ., 2015.
7. Prishchepa O.M., Aver'ianova O. Iu., A. A. Il'inskii, D. Morariu. *Neft' i gaz nizkopronitsaemykh slantsevykh tolshch – rezerv syr'evoi bazy uglevodorodov Rossii* [Oil and gas of low-permeability shale strata - reserve of hydrocarbon resource base of Russia]. St. Petersburg, VNIGRI Publ., 2014.
8. Iandarbiev N.Sh., Bachin S.I., Mollaev Z.Kh. i dr. *Prognoz neftegazonosnosti iurskikh otlozhenii v zapadnoi chasti Tersko-Kaspiiskogo progiba na osnove basseinovogo modelirovaniia* [Forecast of oil and gas content of Jurassic deposits in the western part of the Tersko-Caspian trough based on basin modeling]. *Geologiia nefti i gaza* [Geology of oil and gas], 2014, no. 3, pp. 9–18.
9. Pelet R. 1985. Evaluation quantitative des produits formés lors de l'évolution géochimique de la matière organique. Rev. d'Institut Francais du Pétrole, 1985, v. 40, № 5, p. 551–56.
10. SchmokerJW. *Opredelenie soderzhaniia organicheskogo veshchestva devonskikh slantsev basseina Appalachi iz GM* [Determination of the organic matter content of the Devonian shales of the Appalachian Basin from the GM].AAGN Biulleten, 1981, 65 (7): 1285-1298.