

УДК 550.8.05

**Дудаев С.А. [Dudaev S.A.],  
Керимов А-Г.Г. [Kerimov A-G.G.],  
Гридин В.А. [Gridin V.A.]  
Галай Б.Ф. [Galay B.F.]**

## **ОПТИМИЗАЦИЯ КОМПЛЕКСА ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ СКВАЖИН В АРГИЛЛИТОПОДОБНЫХ ПАЛЕОГЕНОВЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ НА ПРИМЕРЕ НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ВОСТОЧНОГО ПРЕДКАВКАЗЬЯ**

**Optimization of the complex of geophysical well  
investigations in argillite-like paleogene deposits  
by the example of oil fields of Eastern Ciscaucasia**

В работе приводятся данные анализа информативности геолого-геофизических методов при решении задачи поисков нефтегазонасыщенных коллекторов в палеогене на территории Восточного Предкавказья. Несмотря на довольно длительную историю изучения глинистых коллекторов, их нетрадиционность оказывает существенное влияние на достоверность результатов геофизических исследований скважины. Традиционная геологическая оценка «сланцеподобных» коллекторов затруднительна ввиду значительной латеральной изменчивости свойств пород, о чем свидетельствуют и результаты опробования коллекторов хадумской свиты. В результате анализа промыслово-геофизических материалов, характеризующих отложения хадумской свиты по пяти месторождениям Ставропольского края, выявлено, что продуктивные, по результатам опробования, интервалы характеризуются повышенными значениями естественной гамма-активности, в интервалах, где керн не отбирался, предпочтительно использовать результаты анализов шлама методом ядерного магнитного резонанса. Достоверность выделения коллекторов в аргиллитоподобных коллекторах геофизическими методами исследования скважин повышается включением в комплекс спектрометрического и широкополосного акустического каротажа.

The paper presents the analysis findings of informativity of geophysical methods for solving the problem of searching collectors saturated with oil and gas in the Paleogene on the territory of Eastern Ciscaucasia. Despite the rather long history of studying clay collectors, their unconventionality has a significant impact on the reliability of the results of geophysical well investigations. Traditional geological evaluation of "state-like" collectors is difficult due to significant lateral variability of rock properties, as evidenced by the results of testing the collectors of Khadum suite. As a result of the analysis of field-geophysical data, characterizing the deposits of Khadum suite for five fields in Stavropol Territory, it was found that the productive intervals, according to sampling results, are characterized by the increased values of natural gamma activity, in the intervals, where the core was not sampled, it is preferable to use the results of drill cuttings analysis obtained by the nuclear magnetic resonance method. The reliability of the segregation of collectors in argillite-like reservoirs by using geophysical methods of well investigations is enhanced by the inclusion of the spectrometric and broadband acoustic logging methods into the complex.

**Ключевые слова:** геофизические методы, каротаж, палеоген, глинистый коллектор, спектрометрический гамма-гамма каротаж.

**Key words:** geophysical methods, logging, Paleogene, argillaceous collector, spectrometric gamma-gamma-ray logging.

### **Введение**

Технологический прорыв в сланцевой добыче углеводородов сделал США лидером по производству газа в мире и позволил догнать ведущие страны мира (Саудовскую Аравию и Россию) по производству нефти. Говоря о сланцевой нефти в России, имеются в виду, в том числе и залежи хадумской свиты Предкавказья, хотя с точки зрения литологии таковыми они не являются.

Трудно недооценивать значимость для нашей страны «сланцеподобных» коллекторов, ориентируясь на достижения США, с учетом того, что по ресурсам сланцевых запасов Российская федерация занимает одно из ведущих мест в мире.

Длительное время аргиллитоподобные глины хадумской и баталпашинской свит («хадумиты»), залегающие на глубинах 1300–2200 м при толщине 30–45 м, считались региональными покрывками, в связи с чем основные исследования были направлены на изучение их экранирующих свойств.

Несмотря на довольно длительную историю изучения глинистых коллекторов, их нетрадиционность оказывает существенное влияние на достоверность результатов геофизических исследований скважины (ГИС), как и ограниченный комплекс ГИС, применявшийся в период разведки месторождений. В значительной степени это обусловлено тем, что эффекты, создаваемые присутствием углеводородов в этих коллекторах весьма незначительны, и часто лежат за пределами возможности геофизических методов.

### **Материалы и методы исследований**

Выполненные в 80-х годах прошлого столетия геофизические исследования в плотных глинистых коллекторах нижнемайкопской серии, ранее считавшихся неизвлекаемыми, свидетельствуют об их перспективности с точки зрения добычи УВС.

Хадумские отложения подразделяются на нижнюю (пшехский горизонт), среднюю (полбинский, или острокодовый горизонт) и верхнюю части горизонт Морозкиной балки). Отложения пшехского горизонта представлены аргиллитоподобными плотными глинами, полбинского – в подошве доломитизированными мергелями, в верхней части – мягкими глинистыми мергелями и глинами. Горизонт Морозкиной балки сложен аргиллитами и аргиллитоподобными глинами. Выше залегают отложения баталпашинской свиты – аргиллиты и глины, плотные, некарбонатные. В 20–30 м от подошвы залегают прослои доломитизированного мергеля – баталпашинский репер – делящего свиту на подреперную и надреперную части. Отложения подреперной части продуктивны.

Привлечение зарубежных и отечественных аналогов с целью моделирования природных резервуаров нефти в сложнопостроенных нижнемайкопских глинистых отложениях удовлетворительных результатов не дало.

Полученные по результатам поисково-разведочного бурения геолого-геофизические данные нельзя распространить на весь предполагаемый резервуар и оценить подсчетные параметры «сланцевых» залежей.

Традиционная геологическая оценка «сланцеподобных» коллекторов затруднительна ввиду значительной латеральной изменчивости свойств пород, о чем свидетельствуют и результаты опробования коллекторов хадумской свиты. Например, дебит скважины № 23 Журавского месторождения составлял доли кубических метров в сутки, а скважины № 22 Воробьевского месторождения – до десяти кубических метров в сутки. Также отмечалась существенное различие в продолжительности эксплуатации скважин фонтанным способом. Частое переслаивание слабопроницаемых и непроницаемых литологических разностей приводит к затруднению оттока УВ из низкопроницаемых коллекторов.

В результате анализа промыслово-геофизических материалов, характеризующих отложения хадумской свиты по пяти месторождениям Ставропольского края, выявлено, что продуктивные, по результатам опробования, интервалы характеризуются повышенными значениями естественной гамма-активности (ГК), удельного электрического кажущегося сопротивления (КС). Интервальное время пробега продольной волны  $\Delta T$  по акустическому каротажу (АК) не позволяет дифференцировать разрез по характеру насыщения.

Необходимо отметить низкую информативность в разрезе нейтронно-гамма-каротажа (НГК) и компенсированного нейтронного каротажа (КНК) ввиду низкой чувствительности метода в условиях высокого водородосодержания разреза. Более дифференцированным в продуктивном разрезе является гамма-гамма-картаж в плотностной модификации (ГГК-П), слабо подверженный влиянию глинистости.

### **Результаты исследований и их обсуждение**

Поскольку интегральный характер ГК не позволяет оценить тип глинистых минералов, входящих в структуру скелета, применение гамма-каротажа в спектрометрической модификации (ГК-С) позволяет повысить эффективность методов ГИС при поисково-разведочных работах [1].

Известно, что торий является прямым индикатором объемной глинистости, т. к. торий не входит в состав каркаса (скелета), а рассеян в горной породе. Исходя из вышесказанного, коэффициент глинистости, определенный по содержанию тория, рекомендуется для оценки фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС) глинистых отложений.

Ввиду повышенного содержания гидрослюды (48–95 %) в глинах олигоцене (в частности подреперной части) и, соответственно, калия, что никак не связано глинистостью, коэффициент глинистости, определенный по этому показателю, может быть использован для ввода поправок в показания мето-

дов КНК, АК, ГГК-П при оценке пористости коллекторов с учетом влияния глинистых минералов (рис. 1).

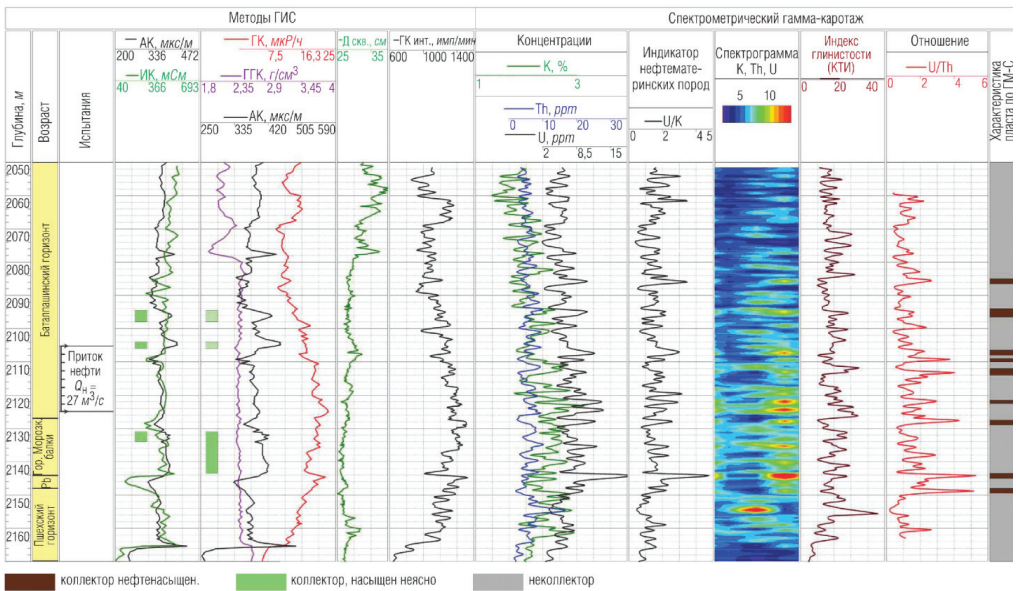
С учетом урановой составляющей при анализе показаний (ГК-С) отмечается повышение точности в оценке коэффициента глинистости, так как этот индикатор не связан с глинистостью изучаемых палеогеновых отложений, а зависит от содержания органического углерода ( $C_{org}$ ) и форм его распределения [1].

Включение в комплекс ГИС низкочастотной модификации существенно повышает эффективность комплекса для решения проблемы выделения коллекторов в палеогеновых отложениях. Информативность стандартного акустического каротажа, функционирующего на частоте 25 кГц, снижается в низкопористых трещинных глинистых и карбонатных коллекторах ввиду значительного затухания сигнала, в связи с чем регистрация динамических и кинематических характеристик упругих волн затруднительна. Низкочастотной модификацией метода регистрируются скоростные и амплитудные характеристики продольных и поперечных волн, позволяющие провести расчленение геологического разреза по литологии и по насыщению. На величину расчетной скорости акустических волн оказывают влияние жидкости в мелких трещинах, поэтому при определении скоростей продольных и поперечных волн при низких величинах давлений всестороннего сжатия, характерного для отложений палеогена (до 20–25 МПа), следует учитывать данное обстоятельство. Это влияние уменьшается с увеличением всестороннего сжатия в связи с закрытием микротрещин. Таким образом, достоверные результаты акустического метода могут быть получены при использовании волн низкочастотного диапазона (10–12 кГц), когда затухание волны минимизировано, и насыщенность горных пород с более однородной структурой порового пространства определяется сжимаемостью крупных пор, обусловленной упругостью сцементированного скелета породы.

Ввиду сильной изрезанности ствола скважин кавернами достигнуть прижатия каверномера к стенке скважины не удастся, что оказывает негативное влияние на результаты исследований.

Другим подходом в решении задачи выделения хадумитов Восточного Предкавказья является сопоставление коэффициентов пористости  $K_n$ , определяемых по данным ГИС и по результатам лабораторных анализов керна. В качестве объекта исследований авторами выбраны отложения хадумской и баталпашинской свит, как наиболее освещенных керном и наиболее выдержанных по площади [2, 3].

В интервалах, где керн не отбирался, использовались результаты анализов шлама методом ядерного магнитного резонанса (ЯМР) [4]. Результаты исследований методом ЯМР показали высокую степень сходимости в определении коэффициентов пористости по керну и шламу в палеогеновых отложениях. Так, в скважине № 2 Довсунской площади различия в коэффициен-



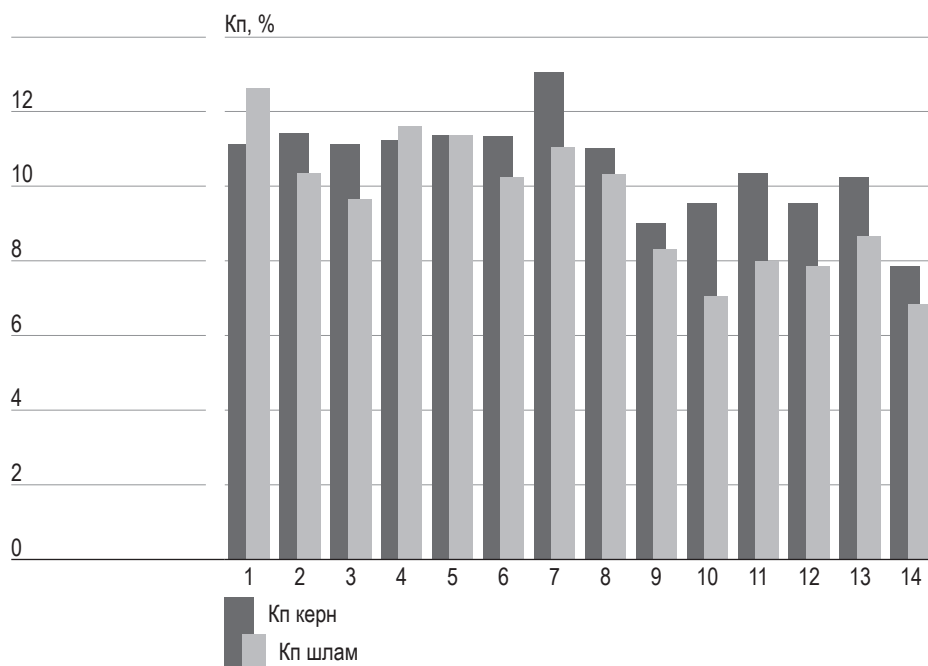
**Рисунок 1.** Сопоставление различных критериев выделения глинистых коллекторов олигоцена с результатами испытаний в колонне.

тах пористости, определенных по керну и шламу методом ЯМР, составляют в среднем менее 1 % по абсолютным значениям (рис. 2).

Приведенные данные свидетельствуют, что для глинистых отложений палеогена Восточного Предкавказья допустима процедура определения коэффициента пористости методом ЯМР по анализам шлама в условиях низкой представительности керна или его полного отсутствия.

Проведен анализ выполненных замеров пластовых давлений в продуктивных интервалах с целью исключения неоднозначности геологической интерпретации данных комплекса геофизических исследований скважин в пластах с низкими фильтрационно-емкостными свойствами.

Определение проницаемости осуществлялось по кривым давления на точка стояния манометра в середине



**Рисунок 2. Результаты определений  $K_p$  по керну и шламу методом ЯМР в скважине № 2 Довсунской площади.**

продуктивного пласта. Участок считается непроницаемым в случае отсутствия изменения давления. Предполагаемые нефтеносные пласты опробовались после водоносных и газоносных во избежание искажения результатов ввиду возможного загрязнения прибора нефтью.

Первой однократно отбиралась контрольная проба промывочной жидкости в интервале испытаний без герметизирующего элемента и прижимного устройства. В случае удаленности интервалов испытаний друг от друга более 100 метров отбор контрольных проб флюида проводили в каждом из них.

Испытания в глинистых коллекторах палеогена проводились как в открытом, так и в обсаженном стволе скважины. Отмечались многочисленные случаи отсутствия притока нефти ввиду недостаточного времени проведения испытаний и завышенных депрессий на пласт, вследствие чего судить о продуктивности объектов не представлялось возможным.

Эти факты являются свидетельством процессов смыкания расслоенных листоватых пластинок глинистого коллектора при их освоении на максимальных депрессиях, происходящих в призабойной зоне пласта и приводящих к снижению продуктивности скважины. Учитывая упруго-пластические свойства глин, происходит необратимые деформации каркаса скелета пласта [5].

Таким образом, данные исследования позволяют сделать важный вывод о необходимости тщательного и индивидуального подбора величины депрессии на пласт при испытании скважины для получения объективной информации о насыщении.

### **Выводы**

1. Достоверность выделения коллекторов в аргиллитоподобных коллекторах геофизическими методами исследования скважин повышается включением в комплекс спектрометрического ГК-С и широкополосного акустического каротажа АКШ (при условии удовлетворительного качества заколонной крепи) в сочетании с пластовым испытанием на оптимальных депрессиях. Предложенный подход способствует решению задач доразведки месторождений Восточного Ставрополя при минимальных затратах.
2. Скелет глинистых коллекторов имеет упруго-пластические свойства, ввиду чего даже при незначительной депрессии на пласт происходят необратимые деформации в пластах-коллекторах. При этом отмечается низкая эффективность испытаний, связанная со смыканием расслоенных листоватых пластинок глинистого коллектора при их освоении в течение длительного времени стояния и максимальных депрессиях.

### **Библиографический список**

1. Дудаев С.А., Дудаев Р.С. Хадумиты Предкавказья: новое в геолого-геофизическом изучении, вторичном вскрытии и освоении. М.: Геоинформмарк, 2015. 204 с.
2. Керимов А-Г. Г. Методы оценки коэффициента пористости и глинистости коллекторов в отложениях палеогена на площадях Восточного Ставрополя / Вестник СевКавГТУ серия «Науки о земле», Издательство ГОУВПО «СевКавГТУ». № 4. 2007. Ставрополь. С. 5–9.
3. Богданович Н.И. Определение эффективной пористости методом адсорбции (на примере сложных коллекторов нижнемайкопских отложений Восточного Предкавказья). М.: 1988. С. 89–97.

4. Ядерно-физические методы оперативного анализа шлама. Методические указания по применению / ВНИИ ядерной геофизики и геохимии НПО «Нефтегеофизика». М.: 1984. 58 с.
5. Майдебор В. Н. Особенности разработки нефтяных месторождений с трещиноватыми коллекторами. М.: Недра, 1980. 288 с.

#### References

1. Dudaev S.A., Dudaev R.S. Hadumity Predkavkaz'ya: novoe v geologo-geofizicheskom izuchenii, vtorichnom vskrytii i osvoenii (Khadumites of Ciscaucasia: breakthrough in geological and geophysical study, secondary opening and development). М.: Geoniformmark, 2015. 204 p.
2. Kerimov A-G. G. Metody ocenki koefitsienta poristosti i glinistosti kollektorov v otlozheniyah paleogena na ploshyadyah Vostochnogo Stavropol'ya (Estimation methods of porosity and clayiness coefficient of collectors in the Paleogene deposits on the areas of Eastern Stavropol territory) / Vestnik SevKavGTU seria "Hauki o Zemle", Izdatelstvo GOUVPO "SevKavGTU". №4. 2007. Stavropol. P. 5–9.
3. Bogdanovich N.I. Opredelenie effektivnoi poristosti metodom adsorbtsii (na primere slozhnykh kollektorov nizhnamaikopskikh otlozhenii Vostochnogo Predkavkaz'ya) (Determination of the effective porosity by the adsorption method (by the example of complex collectors of the lower-Maikop deposits of Eastern Ciscaucasia). М.: 1988. P. 89–97.
4. Yaderno-fizicheskie metody operativnogo analiza shlama. Metodicheskie ukazaniya po primeneniyu (Nuclear-physical methods of operative analysis of drill cuttings. Methodical instructions for use) / VNIИ yadernoi geofiziki i geohimii NPO "Нефтегеофизика". М., 1984. 58 p.
5. Maidebor V. N. Osobennosti razrabotki neftyanikh mestorozhdenii s treshinovatymi kollektorami (Features of oil fields' development with fractured collectors). М.: Nedra, 1980. 288 p.