

УДК 550.832.55

Н. Г. Лобода, В. А. Велижанин, А. А. Бубеев
 ООО "Нефтегазгеофизика"

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКОГО НЕЙТРОННОГО ГАММА-КАРОТАЖА

Представлены результаты исследований методики обработки показаний аппаратуры спектрометрического нейтронного гамма-каротажа с использованием аппарата математического моделирования метода Монте-Карло.

Ключевые слова: спектрометрический нейтронный гамма-каротаж, математическое моделирование, методика обработки.

Первые публикации, посвященные применению спектрометрического нейтронного гамма-каротажа (СНГК) с ампульным источником, относятся к концу 1960-х годов [1, 2]. Временем реализации метода в нефтегазовой геофизике можно считать 90-е годы, когда появилась аппаратура ECS компании Schlumberger с программными средствами обработки, обеспечивающая определение массовых содержаний Si, Ca, Fe, S, Cl, H и некоторых других элементов [3, 4].

Суть метода состоит в облучении породы потоком быстрых нейтронов и регистрации (на некотором расстоянии от источника нейтронов) энергетического спектра гамма-излучения. Для ампульных источников нейтронов (Am-Be, Pu-Be и др.) регистрируемый спектр в основном является спектром радиационного захвата нейтронов. В силу пропорциональности интенсивности спектров радиационного захвата массовым содержаниям элементов в породе, а также уникальности характеристик спектров радиационного захвата элементов регистрируемый спектр $S(E)$ может служить основой для определения массовых содержаний элементов:

$$S(E) = S_{Ca}(E) \cdot Y_{Ca} + S_{Si}(E) \cdot Y_{Si} + S_{Fe}(E) \cdot Y_{Fe} + \dots, \quad (1)$$

где Y_i – относительный вклад i -го элемента (Ca, Si, Fe и др.) при разложении регистрируемого спектра на модельные спектры $S_i(E)$ элементов породы.

В 1980-х годах в ряде публикаций, например [5], была рассмотрена универсальная схема вычисления массовых содержаний элемен-

тов, использующая модель “замыкания” оксидов и позволяющая в дальнейшем определять литологический состав породы. Массовое содержание элементов в этой модели вычисляется по формуле

$$W_i = F \cdot Y_i / S_i, \quad (2)$$

где S_i – спектральная чувствительность детектора для i -го элемента; F – нормировочный множитель.

Значение F вычисляется из условия, что сумма весовых долей оксидов, входящих в состав модели породы, должна равняться единице:

$$F \cdot \sum_i \{X_i \cdot Y_i / S_i\} = 1, \quad (3)$$

где X_i – оксидный множитель, учитывающий весовые доли кислорода и углерода, входящих в состав модели. Численно оксидный множитель равен отношению молекулярной массы соответствующего оксида или карбоната i -го элемента к атомной массе i -го элемента.

Регистрируемый аппаратурой СНГК спектр $S(E)$ кроме формулы (1) может быть представлен и суммой спектров, сформированных несколькими геометрическими зонами:

$$S(E) = S_{\text{пл}}(E) + S_{\text{скв}}(E) + S_{\text{пр}}(E), \quad (4)$$

где $S_{\text{пл}}(E)$, $S_{\text{скв}}(E)$, $S_{\text{пр}}(E)$ – составляющие излучения пласта, скважины и прибора соответственно. В зависимости от конструкции зонда СНГК (материала охранный кожуха и других конструктивных элементов зонда, наличия фильтров и др.) и условий измерений в открытом либо закрытом стволе (диаметра скважины и колонны, минерализации пластовой и промывочной жидкости, пористости пласта и др.) суммарная доля излучения прибора и скважины в общем зарегистрированном спектре варьируется в очень широких пределах. В предельных случаях эта доля может достигать 80% от общего регистрируемого излучения.

Достоверность получаемых по схеме (1–4) массовых содержаний элементов во многом будет обусловлена качеством модельных спектров элементов $S_i(E)$, спектров прибора $S_{\text{пр}}(E)$ и скважины $S_{\text{скв}}(E)$ (цементного камня, обсадной колонны, промывочной жидкости), а также качеством учета вклада скважины и прибора в регистрируемый спектр.

Для анализа указанных факторов было проведено математическое моделирование метода, целью которого явились создание библиоте-

