

УДК 550.832.55

*В. А. Велижанин, А. А. Бубеев, Н. Г. Лобода, Д. Р. Лобода,
С. Н. Саранцев, Г. К. Точиленко, Д. О. Чулков, Р. Т. Хаматдинов
ООО “Нефтегазгеофизика”
А. Г. Тихонов
Трест “Сургутнефтегеофизика”*

АППАРАТУРА СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКОГО НЕЙТРОННОГО ГАММА-КАРОТАЖА ДЛЯ ОЦЕНКИ МАССОВЫХ СОДЕРЖАНИЙ ЭЛЕМЕНТОВ В ПОРОДЕ

Приведены характеристики аппаратуры спектрометрического нейтронного гамма-каротажа, представлены результаты скважинных испытаний.

Ключевые слова: скважинная аппаратура, спектрометрический нейтронный гамма-каротаж, массовое содержание элементов, глубинность исследований.

Идея применения спектрометрии гамма-квантов радиационного захвата тепловых нейтронов относится к 60-м годам прошлого столетия [1]. Однако отсутствие в то время соответствующих средств детектирования гамма-излучения высоких энергий и передачи данных отодвинуло реализацию метода на многие годы. Временем реализации метода можно считать конец 70-х годов [2], а временем практического применения для условий нефтегазовой геофизики – 90-е годы, когда появилась аппаратура ECS с программными средствами обработки компании Schlumberger.

В ООО “Нефтегазгеофизика” разработка аппаратуры спектрометрического нейтронного гамма-каротажа (СНГК-89) как средства

оценки массовых содержаний элементов в породе была выполнена в период 2008–2010 гг. В приборе СНГК-89 используется стандартный плутоний-бериллиевый источник нейтронов активностью не менее 10^7 н/с. Блок детектирования, состоящий из детектора BGO диаметром 50 мм и фотоэлектронного умножителя, размещен в сосуде Дьюара, что позволяет поднять рабочую температуру применения аппаратуры до 120 °С и выше. Для уменьшения доли излучения прибора и скважины в рабочем энергетическом диапазоне (от 1,5 до 8 МэВ) регистрируемого спектра область детектора поверх охранного кожуха покрыта боросодержащим материалом. Основные технические характеристики аппаратуры СНГК-89 приведены в табл. 1. Допустимая загрузка спектрометрического тракта аппаратуры без изменения его характеристик (энергетического разрешения и линейности энергетической шкалы) составляет $3 \cdot 10^6$ имп/мин. В зависимости от геолого-технических условий проведения каротажа инте-

Таблица 1

Основные технические характеристики аппаратуры СНГК-89

Характеристика	Значение
Общая длина прибора, мм, не более	1500
Максимальный диаметр прибора, мм, не более	100
Общая масса прибора, кг, не более	50
Диапазон температуры окружающей среды рабочих условий применения, °С	–10, +120
Верхнее значение гидростатического давления рабочих условий применения, МПа, не более	80
Диаметр исследуемых скважин, мм	120–350
Активность источника нейтронов, с ^{–1}	$1 \cdot 10^7$
Скорость каротажа, м/ч, не более	100–150
Гарантированное время работы при максимальной температуре, ч, не более	4
Детектор BGO, мм	50·110
Число энергетических каналов	512
Регистрируемый энергетический диапазон, МэВ	От 0,05 до 10
Энергетическое разрешение по линии Cs-137, %, не более	12

гральная загрузка спектрометрического тракта аппаратуры при использовании источника нейтронов активностью 10^7 н/с изменяется от $3 \cdot 10^5$ до $7 \cdot 10^5$ имп/мин. Последнее обстоятельство допускает применение в этой аппаратуре источников нейтронов активностью до $4 \cdot 10^7$ н/с, что позволит существенно увеличить скорость проведения каротажа. Глубинность исследования метода несколько меньше интегральной аппаратуры нейтронного гамма-каротажа и составляет примерно 20–30 см.

Технические параметры и конструкция аппаратуры СНГК-89 предполагают ее эксплуатацию одновременно со стандартными приборами спектрометрического гамма-каротажа, компенсированного нейтронного и литолого-плотностного каротажа. Аппаратура СНГК-89 обеспечивает измерение относительных содержаний кремния (Si), кальция (Ca), железа (Fe), хлора (Cl), натрия (Na), серы (S), титана (Ti), водорода (H) и гадолиния (Gd) в породе как в скважинах с открытым, так и с закрытым стволом без ограничений к составу промысловой жидкости. Относительная погрешность измерений для пласта мощностью 1 м при скорости каротажа 150 м/ч приведена в табл. 2.

Таблица 2

Относительная погрешность определения содержаний элементов аппаратурой СНГК-89

Элемент	Относительная погрешность, %
Si	2,0
Ca	2,1
Fe	0,6
S	1,3
Cl	0,06
H	0,16

Программно-методическая часть аппаратуры спектрометрического нейтронного гамма-каротажа СНГК-89 обеспечивает сопровождение всех технологических этапов ее эксплуатации – настройку, калибровку, проведение каротажа и первичную обработку материалов с получением относительных массовых содержаний перечисленных выше элементов. Для выполнения автоматической стабилизации энер-

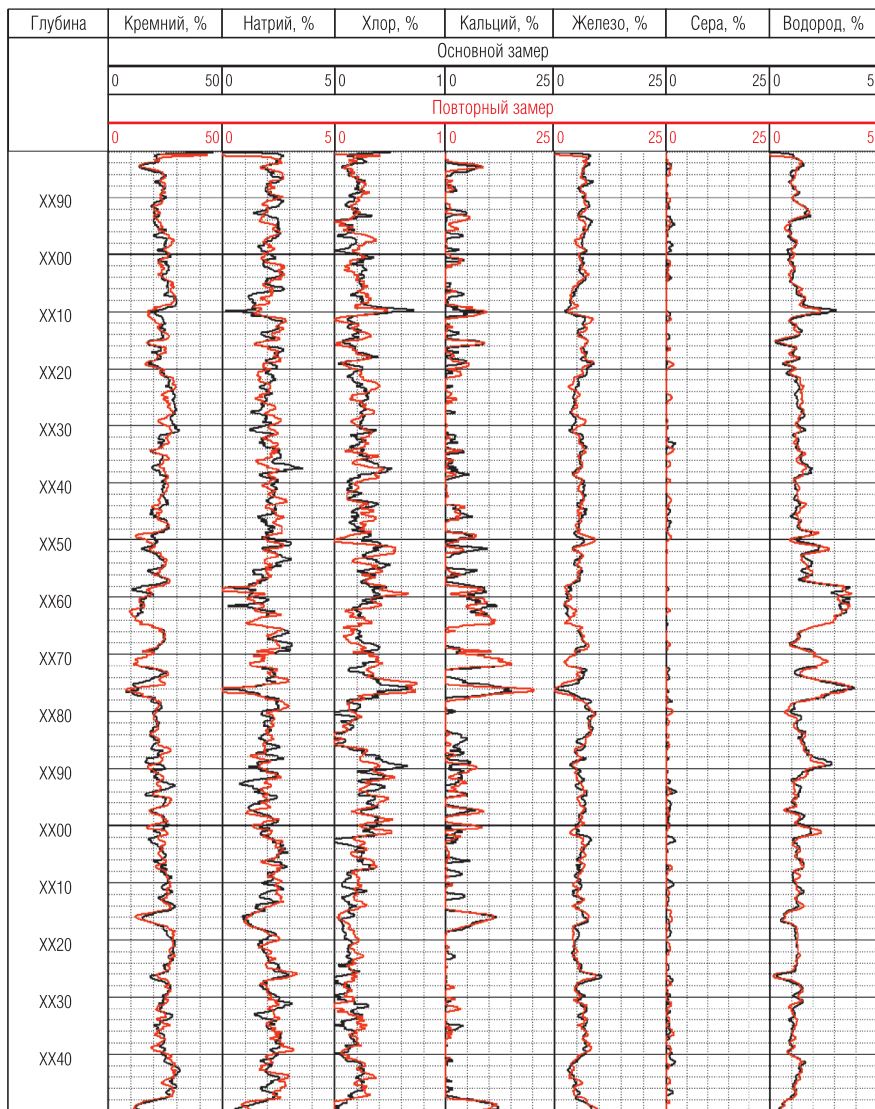


Рис. Пример сопоставления массовых содержаний элементов, полученных по данным основного и повторного замеров аппаратурой СНГК-89 в одной из скважин Лянторского месторождения

гетической шкалы спектрометра в процессе каротажа используется опорный спектр, полученный при выполнении калибровки аппаратуры. По результатам лабораторных и скважинных измерений погрешность удержания энергетической шкалы по линии водорода в процессе каротажа не превышает ± 1 канал, что соответствует $\pm (15-17)$ кэВ.

Результаты калибровки прибора используются также на этапе первичной обработки данных каротажа при получении спектра излучения прибора и выделения излучения пласта из общего зарегистрированного спектра.

Аппаратура СНГК-89 прошла испытания в тресте “Сургутнефтегеофизика” на месторождениях Западной Сибири. Всего было выполнено 5 каротажей – два в открытом стволе и три в обсадной колонне. На рисунке приведен пример сопоставления основного и повторного замеров в скважине с закрытым стволом. Замеры выполнены с источником нейтронов активностью $0,96 \cdot 10^7$ н/с, скорость каротажа 150 м/ч. Систематическая и случайная погрешности, приведенные к пласту мощностью 1 м, по результатам основного и повторного замеров составили, соответственно, для относительного массового содержания кремния 1,66 и 0,41%, кальция – 0,93 и 0,23%, железа – 0,55 и 0,13%, хлора – 0,06 и 0,01%, натрия – 0,27 и 0,07%, водорода – 0,11 и 0,03%, серы – 0,37 и 0,07%. Достаточно высокая погрешность по железу обусловлена наличием обсадной колонны.

В дальнейших испытаниях аппаратуры СНГК-89 планируется существенно расширить геолого-технические условия проведения измерений, что позволит более достоверно оценить ее точностные и эксплуатационные характеристики.

ЛИТЕРАТУРА

1. Якубсон К. И., Эйфе К. Г. Использование спектрометрии гамма-излучения, возникающего под действием нейтронов, для исследования элементного состава горных пород // *Radioisotope Instruments in Industry and Geophysics*. Vol. II. Vienna, 1966.
2. Hertzog R. *et al.* Geochemical Logging with Spectrometry Tools. Paper 16792 presented at the SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Dallas, Texas, 27–30 September. 1987.