

Исследование характеристик гамма спектрометра УДС-ГЦА-ВГО для радиометрической съёмки

А. А. Белоусов¹

¹ Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН,
г. Новосибирск, Российская Федерация
* e-mail: belousov111222@gmail.com

Аннотация. Сформулирована методика калибровки гамма-спектрометра УДС-ГЦА-ВГО, созданного в ИНГГ СО РАН. Работоспособность методики подтверждена экспериментально. На примере гамма-спектрометрических исследований территории ИНГГ СО РАН было зафиксировано наличие температурного дрейфа отклика прибора, вызванного недостаточной температурной компенсацией. Получены зависимости изменения значения измеренного содержания радиоактивных элементов U, Th, K в точках на территории ИНГГ от температуры окружающей среды в диапазоне от плюс 15 °С до минус 20 °С. Результаты рекомендовано использовать для температурной корректировки концентраций элементов при радиометрической съёмке.

Ключевые слова: гамма-спектрометр, уран, торий, калий, естественная радиоактивность

Study of the characteristics of the gamma spectrometer UDS-GCA-BGO for radiometric surveying

A. A. Belousov¹

¹ Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS,
Novosibirsk, Russian Federation,
* e-mail: belousov111222@gmail.com

Abstract. The calibration procedure of the gamma spectrometer UDS-HZ-BGO, created at the IPGG SB RAS, is formulated. The efficiency of the technique has been confirmed experimentally. Using the example of gamma-spectrometric studies of the territory of the IPGG SB RAS, the presence of a temperature drift of the device response caused by insufficient temperature compensation was recorded. The dependences of the change in the value of the measured content of radioactive elements U, Th, K at points on the territory of the IPGG on the ambient temperature in the range from plus 15 °C to minus 20 °C are obtained. The results are recommended to be used for temperature correction of element concentrations during radiometric survey.

Keywords: gamma-ray spectrometer, uranium, thorium, potassium, natural radioactivity

Введение

Радиоактивные и гамма-спектрометрические исследования в наземном и аэро – вариантах широко используются в нефтяной геологии. Радиометрическая съёмка при поиске залежей углеводородов заключается в определении содержания в породах на дневной поверхности урана, тория и калия. Для нефтяных месторождений с длительным устойчивым развитием, со стабильным положением (ВНК) водонефтяного контакта и слабо проявленными процессами разру-

шения нефтей, характерно проявление на дневной поверхности над залежью ореолов распределения урана, тория, калия [1].

Выпускаемые в России и за рубежом портативные гамма-спектрометры, например, Гамма-1С/PS, РГП-301, GR-130 (сцинтилляционный кристалл BGO) и GR-130G (сцинтилляционный кристалл NaI(Tl)) ориентированы на использование в атомной энергетике и не приспособлены для полевых геофизических работ в различных климатических условиях с необходимостью топографической и временной привязки результатов измерений [1 - 3].

Портативный гамма-спектрометр (ГС) УДС-ГЦА-BGO-63x63-RS-BT1, созданный в ИНГГ СО РАН, оснащен тремя каналами температурной стабилизации отклика, что обеспечило малое относительное смещение линии Cs-137 в набираемом гамма спектре не более 1 % в диапазоне внешних температур от минус 30 до плюс 50 °С. [2]. Устройство можно эксплуатировать в диапазоне температур от минус 30 до плюс 40 °С, что позволяет проводить полевые измерения в условиях климата Сибири.

В рамках работы по написанию методики для проведения пешеходной гамма-спектрометрической съёмки была произведена калибровка прибора. Данные калибровки являются основанием для оценки качества и проведения количественной интерпретации результатов гамма-съёмки. После калибровки ГС были проведены эксперименты по оценке качества температурной стабилизации ГС, путём проведения нескольких групп измерений на территории ИНГГ СО РАН в зависимости от температуры окружающей среды.

Цель работы – формирование существенной части методики гамма-спектрометрических измерений концентраций урана, тория, калия включая калибровку и оценку эффективности температурной стабилизации ГС.

Методика калибровки ГС

Калибровка гамма-спектрометра производилась на эталонных образцах на базе Сибирского филиала Березовгеология ФГУГП Уран-ГЕО МПРиЭ РФ, г.Новосибирск. Калибровочные гамма спектры измерялись на государственных стандартных образцах естественных радиоактивных элементов (ГСО-ЕРЭ). Разработчик и изготовитель ГСО: Сибирский филиал Березовгеология Аттестованные значения содержания радиоактивных элементов в эталонах приведены в табл. 1.

Таблица 1

Аттестованные значения концентраций радиоактивных элементов в эталонах

Эталон	Содержание радиоактивного элемента в эталоне, %		
	U	Th	K
Уран ГСО	0,0735	0,0008	0,4
Торий ГСО	0,0003	0,0437	0,9
Калий ГСО	24,7	0,0005	0,0004

Исходя из данных таблицы 1 следует, что каждый эталон содержит все элементы, т.е. гамма-спектры элементов накладываются. С учетом этого факта в [3] приведён метод калибровки. В этом методе определяются калибровочные коэффициенты a_{ij} из системы линейных уравнений (1):

$$\begin{aligned}
 K_K &= a_{11}h1_U + a_{12}h1_{Th} + a_{13}h1_K \\
 U_K &= a_{21}h1_U + a_{22}h1_{Th} + a_{23}h1_K \\
 Th_K &= a_{31}h1_U + a_{32}h1_{Th} + a_{33}h1_K \\
 K_U &= a_{11}h2_U + a_{12}h2_{Th} + a_{13}h2_K \\
 U_U &= a_{21}h2_U + a_{22}h2_{Th} + a_{23}h2_K \\
 Th_U &= a_{31}h2_U + a_{32}h2_{Th} + a_{33}h2_K \\
 K_{Th} &= a_{11}h3_U + a_{12}h3_{Th} + a_{13}h3_K \\
 U_{Th} &= a_{21}h3_U + a_{22}h3_{Th} + a_{23}h3_K \\
 Th_{Th} &= a_{31}h3_U + a_{32}h3_{Th} + a_{33}h3_K
 \end{aligned} \tag{1}$$

где $K_K, K_U, K_{Th}, U_K, U_U, U_{Th}, T_K, Th_U, Th_{Th}$ - известные содержания калия, урана и тория в соответствующих государственных стандартных образцах (ГСО) (значения из табл. 1);

a_{ij} - пересчётные калибровочные коэффициенты; hi_U, hi_{Th}, hi_K - суммы всех зарегистрированных гамма-спектрометром событий в энергетических окнах элементов U, Th, K (энергетическое окно для урана: 1596 -1968 КэВ, для тория: 2400 - 3048 КэВ, для калия: 1344 – 1560 КэВ) при снятии спектров на соответствующих ГСО (U, Th, K).

Пересчётные калибровочные коэффициенты a_{ij} могут быть рассчитаны из следующих соотношений (2) [4]:

$$a_{i1} = \frac{N_1^U}{U}; a_{i2} = \frac{N_2^U}{U}; a_{i3} = \frac{N_3^U}{U} \tag{2}$$

где U — содержание равновесного урана в модели в %; N_1^U, N_2^U и N_3^U — суммы всех зарегистрированных гамма-спектрометром событий в энергетических окнах элементов (количество импульсов).

Аналогичным образом вычисляют коэффициенты a_{31}, a_{32} и a_{33} для тория и коэффициенты a_{11}, a_{12} и a_{13} для калия.

Полученные из решения системы (1) калибровочные коэффициенты a_{ij} используются для расчёта содержания U, Th, K по спектрам, полученным при проведении полевых измерений. Расчёт концентраций соответствующих радиоактивных элементов осуществляется путём решения трёх уравнений (3) для каждого элемента. [4]:

$$\begin{aligned}
 K &= a_{11}h_U + a_{12}h_{Th} + a_{13}h_K \\
 U &= a_{21}h_U + a_{22}h_{Th} + a_{23}h_K \\
 Th &= a_{31}h_U + a_{32}h_{Th} + a_{33}h_K
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

где: U, Th, K - концентрации урана, тория, калия; a_{ij} – коэффициенты, найденные при калибровке гамма-спектрометра; h_U, h_{Th}, h_K - суммы всех зарегистрированных гамма-спектрометром событий в энергетических окнах элементов U, Th, K (энергетическое окно для урана: 1596 - 1968 КэВ, для тория: 2400 - 3048 КэВ, для калия: 1344 – 1560 КэВ).

Результатом успешной калибровки является приемлемая погрешность измеренных содержаний U, Th, K в соответствующих ГСО с содержаниями, указанными в паспортах данных ГСО. Результаты сравнения данных приведены в таблице 2.

Рассчитанные содержания элементов U, Th, K в ГСО удовлетворительно сходятся с данными из паспортов для ГСО ЕРЭ, по которым производилась калибровка гамма спектрометра.

Таблица 2

Сравнение рассчитанных содержаний радиоактивных элементов в стандартных образцах с данными из паспортов соответствующих ГСО

ГСО	Радиоактивный элемент	Содержание радиоактивного элемента в ГСО, %	Рассчитанное содержание, %	Погрешность, %
Уран ГСО СУРТ-1	Уран	0,0735	0,07349	0,014
	Торий	0,0007	0,00073	4,3
	Калий	0,4	0,34	15
Торий ГСО СТЕРЭ-Т2	Уран	0,0003	0,00033	10
	Торий	0,0437	0,0437	0,0001
	Калий	0,9	0,88	2,2
Калий ГСО СТЕРЭ-К3	Уран	0,0004	0,00036	10
	Торий	0,0005	0,0003	40
	Калий	24,71	24,73	0,081

Из таблицы 2 следует, что прибор обеспечивает малую погрешность определения основных элементов в ГСО.

Схема методики калибровки

- 1) Произвести настройку оборудования, выставить необходимое время набора спектра.
- 2) Установить блок детектирования ГС на государственный стандартный образец естественных радиоактивного элемента урана, тория или калия.
- 3) Запустить процесс регистрации гамма-квантов.
- 4) Сохранить спектр под соответствующим ГСО ЕРЭ именем.

5) Повторить процесс регистрации гамма-квантов для двух оставшихся ГСО ЕРЭ

6) Произвести расчет калибровочных коэффициентов для определения содержания урана тория и калия по гамма-спектрометрической съёмке

7) Удостовериться в достоверности рассчитанных калибровочных коэффициентов путём решения системы уравнений (3) и сверки измеренных концентраций урана, тория, калия в ГСО ЕРЭ с данными из паспортов для ГСО ЕРЭ, при удовлетворительной погрешности калибровку можно считать успешной.

Гамма-спектрометрическое исследование территории, прилегающей к Институту в различных температурных условиях

Исследование проводилось с целью тестирования температурной стабилизации ГС. Точки проведения измерений на поверхности грунта обозначены на (рис. 1).



Рис. 1. Точки измерений концентраций U, Th, K на территории ИНГГ

Всего было проведено 6 групп измерений в диапазоне температуры окружающей среды от плюс 15 °С до минус 20 °С. В результате обработки данных были получены зависимости изменения измеренного содержания радиоактивных элементов U, Th, K в точках на территории ИНГГ от температуры окружающей среды. На рис. 2 приведен пример зависимости измеренного содержания Калия в грунте от температуры.

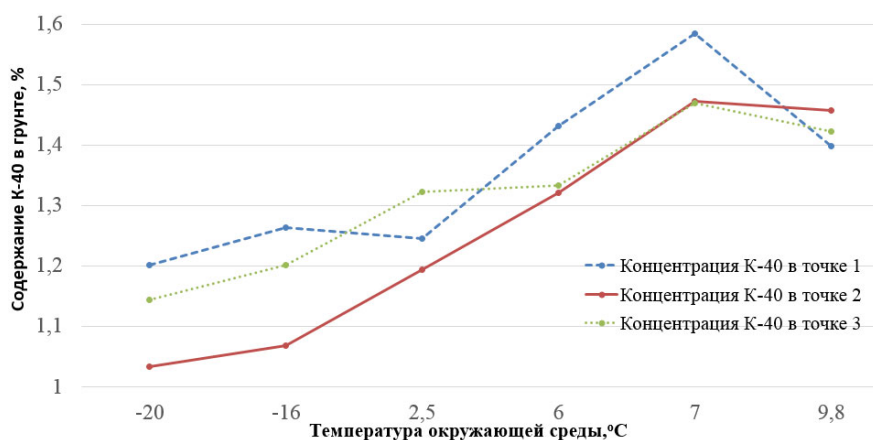


Рис. 2. Зависимость измеренного содержания изотопа Калия-40 в грунте от температуры

Значения содержания изменяются в пределах рассчитанной погрешности ($\delta\rho K = 11.8\%$), погрешность и как следствие снижение измеренной концентрации обусловлены смещением окна энергий из-за понижения температуры окружающей среды. Также на основе полученных данных были построены графики температурного дрейфа линии калия (рис. 3).

На (рис. 3) видно смещение линии калия в сторону увеличения энергии при понижении температуры. При изменении температуры световой выход детектора может изменяться с температурой, что приводит к нестабильности показаний. Поэтому температурная стабильность светового выхода является важным свойством сцинтилляционного детектора. [5]

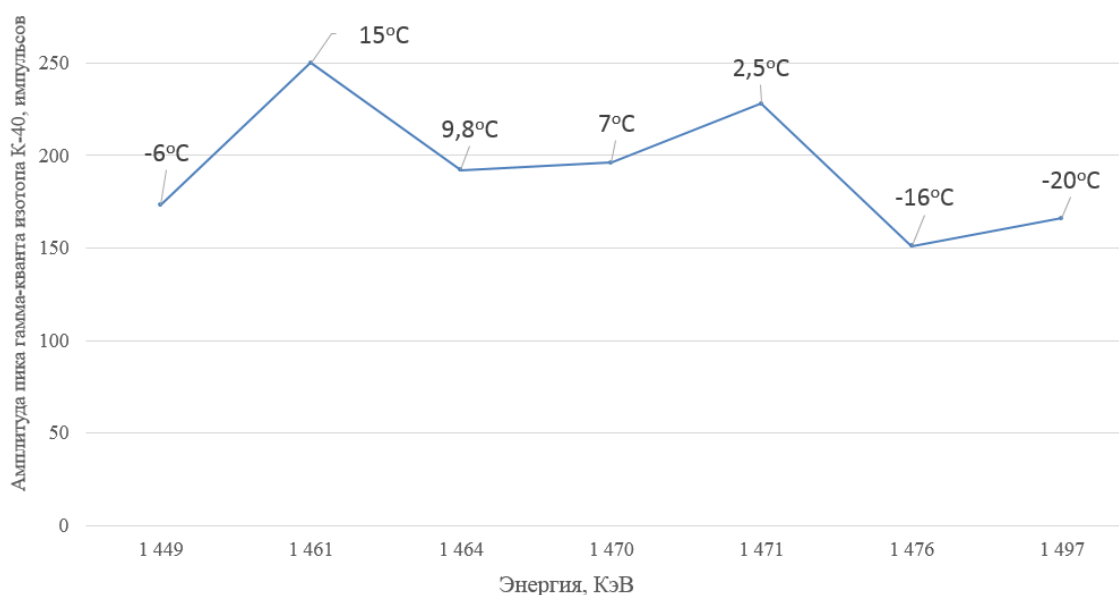


Рис. 3. Температурный дрейф линии изотопа Калия-40 на точке 2 (рис. 1) (-20, -16, -6, 2.5, 7, 9, 15 °C – температура окружающей среды при проведении измерений)

Наблюдаемый температурный дрейф можно отнести к недостаточной компенсации температурной зависимости. При проведении измерений целесообразно производить наблюдение за изменением температуры, для внесения корректировок по положению пика при обработке данных.

Заключение

В результате данной работы сформулирована методика калибровки гамма-спектрометра с экспериментальным подтверждением её работоспособности. Получены удовлетворительные экспериментальные результаты по калибровке.

На примере гамма-спектрометрических исследований территории ИНГГ СО РАН выявлено наличие температурного дрейфа при натуральных измерениях, вызванного недостаточной температурной компенсацией, следует производить наблюдение за изменением температуры при проведении измерений, для внесения

корректировок по положению пика при обработке энергетических спектров. Были получены зависимости изменения значения расчётного содержания радиоактивных элементов U, Th, K в точках на территории ИНГГ от температуры окружающей среды в диапазоне от плюс 15 °С минус 20 °С. Эти результаты рекомендуются использовать для температурной корректировки полевых измерений.

На основе проведённой работы ведётся подготовка к проведению полевой гамма-спектрометрической съёмки.

Благодарности

Автор выражает особую благодарность старшему научному сотруднику Злыгостеву Игорю Николаевичу и доктору технических наук Грузнову Владимиру Матвеевичу за помощь при написании настоящей статьи.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ядерно-геохимические исследования отложений юры и палеозоя Томской области по керну глубоких скважин с целью оценок перспектив нефтегазоносности. /Отв. Исп. Ю.А, Фомин. – Томск, 1983. – 191 с.
2. RADIOMETRIC SYSTEMS. GR-135G. Handheld Gamma Ray Spectrometer. [Электронный ресурс] // Sedimentology and Environmental Geology Göttingen. – 2022. – Режим доступа: <http://www.sediment.uni-goettingen.de/>, свободный. – (дата обращения: 01.04.2022)
3. ГАММА-1С. Спектрометр энергии гамма-излучения сцинтилляционный [Электронный ресурс] // АО "НПЦ "АСПЕКТ". – 2022. – Режим доступа: <https://www.aspect-dubna.ru/product/gamma-1s/>, свободный. – (дата обращения: 01.04.2022)
- 4.Соболев И.С. Методы радиогеохимии при наземных поисках месторождений нефти и газа // Известия Томского политехнического университета. – 2007. – Т.311. – №1. – С.90-96.
5. Титов Б.Г., Грузнов В.М. Принцип построения и характеристики гамма- спектрометра для радиометрической съёмки// Материалы XVI межд. конф. (20-24 апреля 2020, Новосибирск) / Сетевое электронное издание. – Рос. акад. наук, Сиб. отд-ние, Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука. – Новосибирск. 2020. – С. 624-631.
6. Сцинтилляционный переносный полевой гамма-спектрометр СП-3 [Электронный ресурс] – 2022. – Режим доступа: <https://fccland.ru/geofizicheskie-metody-poiska/1641-scintillyacionnyu-perenosnyu-polevoju-gamma-spektrometr-sp-3.html>, свободный. – (дата обращения: 01.04.2022)
7. Ефимова Т. Н., Кусакин А. В. Применение спектрометрического гамма-каротажа для решения нефтеразведочных и геоэкологических задач// Каротажник. – 2004. – № 1(114). – С. 51-75.
8. Р. Ю. Шендрик Методы экспериментальной физики конденсированного состояния. Часть 3. Введение в физику сцинтилляторов 1 // Учебное пособие. – Иркутск: изд-во Иркут. гос. ун-та, 2013. – 110 с.

© А. А. Белоусов, 2022