

*А. А. Белоусов<sup>1,2\*</sup>, И. Н. Злыгостев<sup>1</sup>*

## **Методика учета температурной нестабильности сцинтиллятора в портативном гамма-спектрометре для разведочной геофизики**

<sup>1</sup> Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, г. Новосибирск, Российская Федерация

<sup>2</sup> Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск, Российская Федерация

\* e-mail: belousov111222@gmail.com

**Аннотация.** Повышено качество результатов гамма-спектрометрической съёмки путём создания методики компенсации температурного дрейфа гамма-спектрометра УДС-ГЦА-ВГО (ГС), созданного в ИНГГ СО РАН. Работоспособность методики подтверждена экспериментально. Получены зависимости изменения значения измеренного содержания радиоактивных элементов U, Th, K в точках на территории ИНГГ СО РАН от температуры окружающей среды в диапазоне от +10 °С до -20 °С. Результаты рекомендовано использовать для температурной корректировки содержаний элементов при выполнении радиометрической съёмки. С учётом компенсации температурной зависимости проведено гамма-спектрометрическое исследование по профилям на Улантовской площади.

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

*A. A. Belousov<sup>1,2\*</sup>, I. N. Zlygostev<sup>1</sup>*

## **The method of accounting for the temperature instability of the scintillator in a portable gamma-ray spectrometer for exploration geophysics**

<sup>1</sup> Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, Novosibirsk, Russian Federation

<sup>2</sup> Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russian Federation

\* e-mail: belousov111222@gmail.com

**Abstract.** The quality of gamma spectrometric survey results has been improved by creating a method for compensating for the temperature drift of the UDS-GCA-BGO (GS) gamma spectrometer, created at the IPGG SB RAS. The efficiency of the method has been confirmed experimentally. 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 10 °C to minus 20 °C were obtained. The results are recommended to be used for temperature correction of element contents during radiometric survey. Taking into account the compensation of the temperature dependence, a gamma spectrometric study was carried out along the profiles at the Ulantovskaya area.

**Keywords:** gamma spectrometer, uranium, thorium, potassium, natural radioactivity

### ***Введение***

Радиоактивные и гамма-спектрометрические исследования (ГСИ) в наземном и аэро – вариантах широко используются в нефтяной и рудной геологии [1]. Перспективным методом измерения гамма-спектров является применение полевых приборов, отклики которых зависят, как правило, от температуры окружаю-

щей среды в полевых условиях. Целью настоящей работы является определение методики учета температурной зависимости показаний портативного гамма-спектрометра (ГС) для повышения качества измерения содержания элементов естественной радиоактивности (урана, тория, калия) при проведении полевых гамма-спектрометрических исследований.

### *Методы и материалы*

**Аппаратура и эксперимент по определению температурного дрейфа.** Сцинтиллятор ВГО, используемый в гамма-спектрометре УДС-ГЦА, имеет максимальный световойход, равный 1 отн. ед. при температуре  $-80^{\circ}\text{C}$ , это соответствует максимальному световыходу сцинтиллятора  $\text{NaI}(\text{Tl})$  при температуре  $+30^{\circ}\text{C}$ . В интервале температур от  $-30^{\circ}\text{C}$  до  $+50^{\circ}\text{C}$  световойход  $J(T)$  ВГО изменяется от 0,83 отн. ед. до 0,33 отн. ед. Такое изменение световыхода приводит к сдвигу положения регистрируемых фотопиков в спектре и вносит ошибку в измерения, проведенные при разных температурах [2].

Для определения температурного дрейфа также был проведен эксперимент с применением двух образцов радиоактивных элементов: комбинированного образца Cs-137 (662 КэВ), K-40 (1461 КэВ) и Th-228 (2612 КэВ). ГС был помещен в морозильную камеру при температуре  $-10^{\circ}\text{C}$  на 3 часа. После извлечения из морозильной камеры ГС был установлен рядом с радиоактивным источником и произведен первый набор спектра длительностью регистрации 300 секунд. Далее через каждые 10 минут до установления равновесия между температурой лаборатории и температурой ГС регистрировался новый спектр. На рис. 1-2 приведены положения фотопиков ЕРЭ на спектрах в начале и в конце измерений соответственно относительно линий, градуированных по температуре  $-10^{\circ}\text{C}$ . По графикам наблюдается сильное смещение энергетических линий элементов Cs-137 (662 КэВ), K-40 (1461 КэВ) и Th-228 (2612 КэВ) вследствие температурной нестабильности сцинтилляционного кристалла ортогерманата висмута.

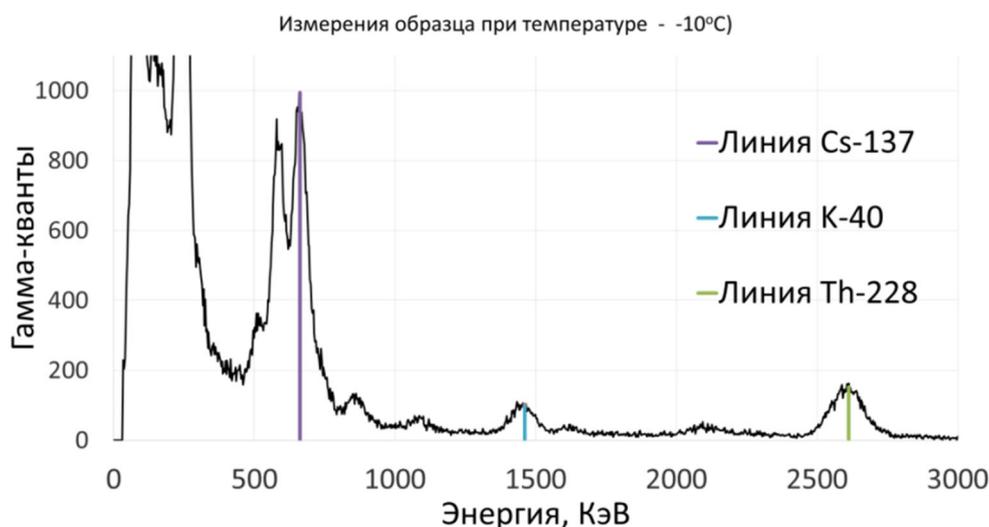


Рис. 1. Положения фотопиков относительно линий ЕРЭ при температуре  $-10^{\circ}\text{C}$

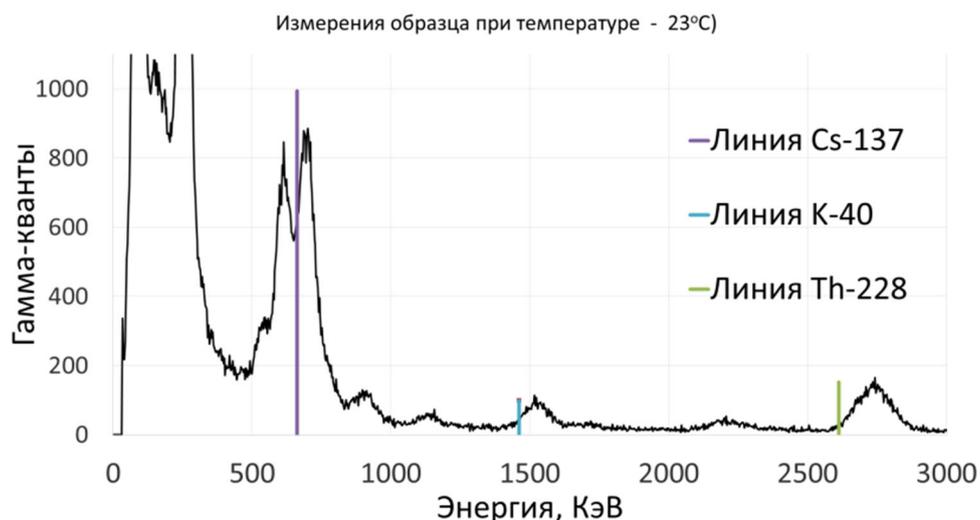


Рис. 2. Положения фотопиков относительно линий ЕРЭ при температуре +23°C

**Учёт температурной зависимости.** Для учёта температурной зависимости блока детектирования были определены значения границ энергетических окон (M1, M3, M5 – левые границы, M2, M4, M6 – правые границы) и линий элементов калия, урана, тория (LK, LU, LTh) для соответствующих температур, зависимости между данными значениями были определены экспериментально и занесены в базу данных для быстрой обработки спектров, полученных при проведении гамма-спектрометрической съёмки. Полученная зависимость отображена в табл. 1.

Таблица 1

Температурная зависимость параметров фотопиков элементов К, U, Th

№	Имя	Температура, °C	Калий			Уран			Торий		
			M1	M2	LK	M3	M4	LU	M5	M6	LTh
1	SP_01	-20	550	606	578	619	720	670	868	1007	932
2	SP_02	-15	538	596	567	615	716	662	860	999	929
3	SP_03	-10	540	598	569	612	713	665	861	1000	930
4	SP_04	-5	554	612	583	628	729	678	877	1016	946
5	SP_05	0	564	622	593	641	742	691	893	1032	962
6	SP_06	5	571	629	600	648	749	698	907	1046	976
7	SP_07	10	578	636	607	654	755	704	909	1048	978
8	SP_08	15	585	643	614	664	765	714	922	1061	991

**Схема методики учёта температурного дрейфа при полевой гамма-съёмке.**

1. Произвести набор 2-3 контрольных измерения на первой точке профиля для дальнейшей оценки погрешности при обработке данных.
2. Измерить температуру окружающей среды непосредственно при начале работ.
3. Выполнить съёмку по обозначенному профилю с измерениями температуры окружающей среды.
4. Завершать съёмку необходимо в начальной точке маршрута для контроля качества измерений.

5. При обработке данных использовать определённые в базе данных (в таблице) значения параметров энергетических пиков.

**Учет температурного дрейфа в полевой съемке.** Для испытания предложенной методикой температурной стабилизации была проведена гамма-спектрометрическая съёмка двух профилей на УП при различной температуре окружающей среды (для профиля №1 15°C, для профиля №2 5°C), расположенной в Тогучинском районе Новосибирской области, результаты измерений приведены на рис. 3. Для определения точности измерений проводились повторные наборы спектров по контрольным точкам. Оцененные по площадям энергетических пиков данные о содержании урана, тория, калия были использованы для расчёта интерпретационных параметров F [3].

$$F = \frac{\text{Содержание Калия}(\%) * \text{Содержание Урана}(\%)}{\text{Содержание Тория}(\%)} \quad (1)$$



Рис. 3. Результаты измерений участка УП на геологической карте

При тестировании предложенного алгоритма компенсации температурного дрейфа для гамма-спектрометра УДС-ГЦА ВГО 63x63-RS-BT1 рассчитана погрешность интерпретационного параметра F. До компенсации погрешность составила 15%, после компенсации – 10%. Измерения проводились при температуре от +5 до +15°C.

### **Обсуждение**

Следует отметить, что полученные значения параметра F в 4 раза меньше теоретических значений (1,5 до 2,5 отн. ед.) для месторождений со схожим геологическим строением. Это вызвано тем, что выбранные профили проходили через лесную зону с мощным почвенно-растительным слоем, который существенно снижает интенсивность гамма-излучения, соответственно снижаются и измеряемые содержания. На рис. 4 приведён фрагмент геолого-технического наряда на бурение поисково-картировочных скважин исследуемого участка Улантовской площади [4].

Шаглы глубин, м	Геология часовая колонна	Мощность слоя, м	Наименование пород	Категория пород	Выход горня, %
1	2	3	4	5	6
		3	Почвенно-растительный слой, глины, суплилки	III	
10		13	Суглинки с обломками, делювий на глинистом цементе, глинистая кора выветривания	IV	
20					60
30		30	Структурная кора выветривания глинисто-щебенистая	V	
40					
50		10	Коренные породы	VI	80

Рис. 4. Фрагмент геолого-технического наряда на бурение поисково-картировочных скважин исследуемого участка Улантовской площади

Погрешность определения содержания U, Th, K при исследованиях с применением предложенной методики равнялась 2% для U, 1,5% для K, 4% для Th, при изменении температуры окружающей среды с 5°C до 15°C.

Подобные исследования проводились ранее в Университете науки и технологий Китая, в ходе которых были установлены температурные коэффициенты для стабилизации положения фотопика [5].

С применением методики компенсации температурного дрейфа сцинтиллятора существенно снижается погрешность полевых измерений, при проведении пешеходной гамма-спектрометрической съемки.

### *Заключение*

В результате выполненных экспериментов измерена температурная зависимость основных параметров гамма-спектрометра, на основе которой предложена методика компенсации температурного дрейфа для гамма-спектрометра УДС-ГЦА ВГО 63х63-RS-ВТ1. Алгоритм компенсации температурного дрейфа содержит корректировку положения энергетических окон спектра гамма-излучения в зависимости от температуры проведения измерений по экспериментально определенным значениям.

Методика учета температурной зависимости подтверждена экспериментально при проведении радиометрической съёмки по профилям на Улантовской площади. Результаты могут быть рекомендованы для учёта температурной нестабильности сцинтилляционных гамма-спектрометров.

### *Благодарности*

Работа выполнена под научным руководством доктора технических наук, профессора кафедры Геофизических систем д.т.н. В.М. Грузнова.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Соболев И.С., Рихванов Л. П., Лященко Н.Г., Паровинчак М.С. Прогнозирование и поиски месторождений нефти и газа радиогеохимическими методами. // Геология нефти и газа. – 2002. – №1. – С. 19-24.
2. Титов Б.Г., Грузнов В.М. Принцип построения и характеристики гамма-спектрометра для радиометрической съёмки // Интерэкспо ГЕО-Сибирь «Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Экономика. Геоэкология»: Материалы XVI международной научной конференции (г. Новосибирск, 20-24 апреля 2020 г.). – 2020. – С. 624-631.
3. Воробьев В.П., Ефимов А.В., Альшулер М.И, Аэрогамма-спектрометрический метод поисков рудных месторождений. – Ленинград: Недра, 1977. – 216 с.
4. Ширококов А.Ю. Проектная документация на проведение работ по объекту «Поисковые работы на медно-порфировое оруденение Улантовской площади (Новосибирская область)». 174 л. текста, 22 рис., табл. 26, текст.прил. 4/41 л., граф. прил. 11/11 л, библи. 34. АО «ЗСУ», 624440, Свердловская область, г. Краснотурьинск, ул. Карпинского, 4, июль, 2020 г. Новосибирская область N-45-VII.
5. Wang P L, Zhang Y L, Xu Z Z, et al. Study on the temperature dependence of BGO light yield // Science China Physics, Mechanics & Astronomy. – 2014. – Vol. 57. – PP. 1898–1901.

© А. А. Белоусов, И. Н. Злыгостев, 2023