

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **046319**(13) **B1**(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента  
**2024.02.28**

(21) Номер заявки  
**202391998**

(22) Дата подачи заявки  
**2023.07.31**

(51) Int. Cl. **G01T 1/16** (2006.01)  
**G01N 23/00** (2006.01)  
**G01V 5/00** (2006.01)

---

(54) **РАДИОМЕТРИЧЕСКИЙ СПОСОБ ОЦЕНКИ СОДЕРЖАНИЯ ПРИРОДНЫХ РАДИОАКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В УГЛЯХ**

---

(43) **2024.02.26**

(96) **KZ2023/055 (KZ) 2023.07.31**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:  
**ПАК ЮРИЙ (KZ)**

(56) KZ-B-34846  
KZ-B-33898  
SU-A1-1803899  
US-A-4118623  
RU-C2-2158943

(72) Изобретатель:  
**Пак Юрий, Пак Дмитрий Юрьевич,  
Туганов Серикпай Куспанович,  
Пономарева Марина Викторовна,  
Пономарева Екатерина Вадимовна,  
Тебаева Анар Юлаевна, Матонин  
Владимир Викторович (KZ)**

(57) Изобретение относится к физическим способам анализа углей. Радиометрический способ оценки содержания природных радиоактивных элементов в углях, основанный на измерении естественного гамма-излучения, испускаемого природными радиоактивными элементами, отличающийся тем, что дополнительно на стандартных образцах углей с известными содержаниями урана, тория и калия-40 измеряют энергетическое распределение естественного гамма-излучения: в энергетической области калия-40 (~1,46 МэВ) находят энергетический интервал  $\Delta E(K)$ , при котором обеспечивается максимальная чувствительность интенсивности гамма-излучения при изменении концентрации К-40; в энергетической области урана-238 (~1,76 МэВ) находят энергетический интервал  $\Delta E(U)$ , при котором обеспечивается максимальная чувствительность интенсивности гамма-излучения при изменении концентрации U-238; в энергетической области тория-232 (~2,62 МэВ) находят энергетический интервал  $\Delta E(Th)$ , при котором обеспечивается максимальная чувствительность интенсивности гамма-излучения при изменении концентрации Th-232, в найденных энергетических интервалах  $\Delta E(K)$ ,  $\Delta E(U)$ ,  $\Delta E(Th)$  измеряют соответственно интенсивности естественного гамма-излучения калия  $N_1(K)$ , урана  $N_2(U)$ , тория  $N_3(Th)$ , а содержание калия-40, урана-238, тория-232 определяют по измеренным в найденных энергетических интервалах интенсивностям  $N_1(K)$ ,  $N_2(U)$ ,  $N_3(Th)$  с учетом коэффициентов вкладов, характеризующих интенсивность гамма-излучения от единичных концентраций К, U, Th в соответствующих энергетических интервалах. Технический результат изобретения состоит в расширении сферы применения способа за счет дополнительного измерения интенсивности гамма-излучения в определенных энергетических интервалах  $\Delta E$ , найденных с точки зрения обеспечения максимальной чувствительности интенсивности гамма-излучения при изменении концентрации определяемых радионуклидов.

**B1****046319****046319****B1**

Изобретение относится к физическим способам анализа углей. Оно может быть использовано в процессе разведки, добычи и переработки в горногеологической и энергетической отраслях промышленности.

Известен радиометрический способ исследования углей, основанный на измерении естественного гамма-излучения, испускаемого природными радиоактивными элементами, находящимися в составе углей (Филиппов Е.М. Ядерная разведка полезных ископаемых. Справочник. Киев. Наукова Думка, 1978, с. 588). Естественная радиоактивность ископаемых углей в основном обусловлена тяжелыми радиоактивными элементами уран-238, торий-232 и калий-40.

Распространённость этих природных радионуклидов в различных минералах и горных породах существенно меняется (Ерофеев Л.Я., Вахромеев Г.С, Зинченко В.С. и др. Физика горных пород. Изд-во Томского политехнического института, 2011, с. 520). При этом естественная радиоактивность углей различных месторождений может быть обусловлена различными радионуклидами. Интегрированные данные о содержании основных радионуклидов (интегральная интенсивность естественного гамма-излучения) зависит от многих факторов (удельная активность радионуклида, зольность углей, степень метаморфизма, возраст и др.). Поэтому интегральный гамма-способ дает лишь качественную информацию о наличии и содержании радионуклидов в углях.

Наиболее близким по технической сущности и достигаемому результату является способ, основанный на спектрометрии естественного гамма-излучения, испускаемого природными радионуклидами: уран-238, торий-232, калий-40 (Шашкин В. Л., Пруткина М.П. Справочник по радиометрической разведке и радиометрическому анализу. М. Атомиздат, 1975, с. 248). Указанные естественные радиоактивные элементы испускают гамма-излучение определенных энергий: U-238 (~1,76 МэВ), Th-232 (~2,62 МэВ), K-40 (~1,46 МэВ). Для урана и тория указаны наиболее интенсивные гамма-линии. Измеряя интенсивность гамма-излучения указанных энергий можно оценивать содержание отдельных радионуклидов в угле.

Недостатком известного способа является сравнительно низкая чувствительность анализа в условиях изменчивости содержания радионуклидов и компонентного состава углей. Это объясняется выбором не оптимальных параметров, в частности энергетических интервалов, выбираемых с точки зрения наибольшей интенсивности гамма-излучения определяемых элементов.

Задачей изобретения является повышение чувствительности определения содержания радиоактивных элементов в широком диапазоне изменения зольности и компонентного состава.

Технический результат изобретения состоит в расширении сферы применения способа и повышении чувствительности анализа.

Поставленная задача решается следующим образом. В процессе измерения интенсивности естественного гамма-излучения урана, тория и калия-40 дополнительно на стандартных образцах углей с известными содержаниями урана, тория и калия-40 измеряют энергетическое распределение естественного гамма-излучения: в энергетической области калия-40 (~1,46 МэВ) находят энергетический интервал  $\Delta E(K)$ , при котором обеспечивается максимальная чувствительность интенсивности гамма-излучения при изменении концентрации K-40; в энергетической области урана-238 (~1,76 МэВ) находят энергетический интервал  $\Delta E(U)$ , при котором обеспечивается максимальная чувствительность интенсивности гамма-излучения при изменении концентрации U-238; в энергетической области тория-232 (~2,62 МэВ) находят энергетический интервал  $\Delta E(Th)$ , при котором обеспечивается максимальная чувствительность интенсивности гамма-излучения при изменении концентрации Th-232, в найденных энергетических интервалах  $\Delta E(K)$ ,  $\Delta E(U)$ ,  $\Delta E(Th)$  измеряют соответственно интенсивности естественного гамма-излучения калия  $N_1(K)$ , урана  $N_2(U)$ , тория  $N_3(Th)$ , а содержание калия-40, урана-238, тория-232 определяют по измеренным в найденных энергетических интервалах интенсивностям  $N_1(K)$ ,  $N_2(U)$ ,  $N_3(Th)$  с учетом коэффициентов вкладов, характеризующих интенсивность гамма-излучения от единичных концентраций K, U, Th в соответствующих энергетических интервалах.

Энергетическое распределение естественного гамма-излучения урана, тория и калия-40 представляет собой сложный спектр, включающий множество гамма-линий урана и тория. Имеет место наложение отдельных гамма-линий урана и тория. Ввиду сложности аппаратной функции гамма-спектрометров наиболее характерные гамма-линии располагаются на фоне непрерывного комптоновского распределения более высокоэнергетического гамма-излучения тория (~2,62 МэВ). Все это актуализирует научно-обоснованный подход к выбору оптимального энергетического интервала ( $\Delta E$ ) в области характерных гамма-линий урана, тория и калия.

На стандартных образцах угля с известными содержаниями урана, тория и калия-40 измеряют энергетическое распределение естественного гамма-излучения и находят энергетический интервал  $\Delta E(K)$ , при котором обеспечивается максимальная чувствительность интенсивности гамма-излучения при изменении концентрации K-40, энергетический интервал  $\Delta E(U)$ , при котором обеспечивается максимальная чувствительность интенсивности гамма-излучения при изменении концентрации U-238, энергетический интервал  $\Delta E(Th)$ , при котором обеспечивается максимальная чувствительность интенсивности гамма-излучения при изменении концентрации Th-232.

Такой подход к выбору оптимальных энергетических интервалов позволяет существенно повысить чувствительность анализа.

Существенным отличием изобретения от прототипа является то, что дополнительно на стандартных образцах углей с известными содержаниями урана, тория и калия-40 измеряют энергетическое распределение естественного гамма-излучения: в энергетической области калия-40 (~1,46 МэВ) находят энергетический интервал  $\Delta E(K)$ , при котором обеспечивается максимальная чувствительность интенсивности гамма-излучения при изменении концентрации К-40; в энергетической области урана-238 (~1,76 МэВ) находят энергетический интервал  $\Delta E(U)$ , при котором обеспечивается максимальная чувствительность интенсивности гамма-излучения при изменении концентрации U-238; в энергетической области тория-232 (~2,62 МэВ) находят энергетический интервал  $\Delta E(Th)$ , при котором обеспечивается максимальная чувствительность интенсивности гамма-излучения при изменении концентрации Th-232, в найденных энергетических интервалах  $\Delta E(K)$ ,  $\Delta E(U)$ ,  $\Delta E(Th)$  измеряют соответственно интенсивности естественного гамма-излучения калия  $N_1(K)$ , урана  $N_2(U)$ , тория  $N_3(Th)$ , а содержание калия-40, урана-238, тория-232 определяют по измеренным в найденных энергетических интервалах интенсивностям  $N_1(K)$ ,  $N_2(U)$ ,  $N_3(Th)$  с учетом коэффициентов вкладов, характеризующих интенсивность гамма-излучения от единичных концентраций К, U, Th в соответствующих энергетических интервалах.

Предлагаемый способ оценки содержания природных радиоактивных элементов апробирован на углях Экибастузского и Карагандинского месторождений. Зольность углей варьировала в интервале 18-47%. Анализируемые пробы угля крупностью до 100 мм размещались в цилиндрической кювете диаметром и высотой 80 см. Детектор располагался по оси кюветы на глубине 40 см. Геометрия измерений и выбранные размеры измерительной кюветы обеспечивали максимальную эффективность регистрации естественного гамма-излучения радионуклидов Th-232, U-238 и K-40.

Энергетическое распределение естественного гамма-излучения измерялось многоканальным спектрометром АИ-1024.

Оптимальные энергетические интервалы  $\Delta E(K)$ ,  $\Delta E(U)$ ,  $\Delta E(Th)$ , найденные с точки зрения максимальной чувствительности, составили:  $\Delta E(K)=1,21-1,66$  МэВ,  $\Delta E(U)=1,56-2,11$  МэВ,  $\Delta E(Th)=2,32-2,96$  МэВ.

В процессе испытаний проанализировано 18 проб углей, в которых зольность менялась в диапазоне 18-47%. На каждой пробе измерялись интенсивности гамма-излучения в найденных энергетических интервалах  $\Delta E(K)$ ,  $\Delta E(U)$  и  $\Delta E(Th)$ , содержание радиоактивных элементов определяли по измеренным интенсивностям  $N_1(K)$ ,  $N_2(U)$  и  $N_3(Th)$  с учетом коэффициентов вкладов от единичных концентраций К, U, Th.

Сопоставительные данные о метрологических характеристиках предлагаемого способа и известного (прототипа) представлены в таблице.

| Способ       | Диапазон изменения зольности, % | Относительная чувствительность проц. / Бк/кг |
|--------------|---------------------------------|--|
| Прототип     | 18-47                           | 3,7  |
| Предлагаемый | 18-47                           | 5,8  |

Предлагаемый радиометрический способ оценки содержания природных радиоактивных элементов в угле в сравнении с известным способом обладает повышенной чувствительностью определения естественных радионуклидов в широком диапазоне изменения зольности, что расширяет сферу применения способа.

Данное исследование финансируется Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № АР 19678770).

#### ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

Радиометрический способ оценки содержания природных радиоактивных элементов в углях, основанный на измерении естественного гамма-излучения, испускаемого природными радиоактивными элементами, отличающийся тем, что дополнительно на стандартных образцах углей с известными содержаниями урана, тория и калия-40 измеряют энергетическое распределение естественного гамма-излучения: в энергетической области калия-40 (~1,46 МэВ) находят энергетический интервал  $\Delta E(K)$ , при котором обеспечивается максимальная чувствительность интенсивности гамма-излучения при изменении концентрации К-40; в энергетической области урана-238 (~1,76 МэВ) находят энергетический интервал  $\Delta E(U)$ , при котором обеспечивается максимальная чувствительность интенсивности гамма-излучения при изменении концентрации U-238; в энергетической области тория-232 (~2,62 МэВ) находят энергетический интервал  $\Delta E(Th)$ , при котором обеспечивается максимальная чувствительность интенсивности гамма-излучения при изменении концентрации Th-232, в найденных энергетических интервалах  $\Delta E(K)$ ,  $\Delta E(U)$ ,  $\Delta E(Th)$  измеряют соответственно интенсивности естественного гамма-излучения калия  $N_1(K)$ , урана  $N_2(U)$ , тория  $N_3(Th)$ , а содержание калия-40, урана-238, тория-232 определяют по измеренным в найден-

ных энергетических интервалах интенсивностям  $N_1(K)$ ,  $N_2(U)$ ,  $N_3(Th)$  с учетом коэффициентов вкладов, характеризующих интенсивность гамма-излучения от единичных концентраций  $K$ ,  $U$ ,  $Th$  в соответствующих энергетических интервалах.

