

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **044540**

(13) **B1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента  
**2023.08.31**

(51) Int. Cl. **G01N 23/22 (2018.01)  
G01V 5/00 (2006.01)**

(21) Номер заявки  
**202293131**

(22) Дата подачи заявки  
**2022.11.04**

---

(54) **ЯДЕРНО-РАДИОМЕТРИЧЕСКИЙ СПОСОБ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА УГЛЯ**

---

(43) **2023.08.28**

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

(96) **KZ2022/060 (KZ) 2022.11.04**  
(71)(73) Заявитель и патентовладелец:  
**КОПОБАЕВА АЙМАН  
НЫГМЕТОВНА; ПАК ЮРИЙ (KZ)**

(72) Изобретатель:  
**Копобаева Айман Ныгметовна, Пак  
Юрий, Амангельдыкызы Алтынай,  
Аскарова Назым Сражадинкызы,  
Блялова Гулим, Пак Дмитрий  
Юрьевич (KZ)**

---

(57) Изобретение относится к физическим способам анализа углей. Ядерно-радиометрический способ контроля качества угля, основанный на измерении интегральной интенсивности естественного гамма-излучения угля, интенсивностей естественного гамма-излучения урана-238, тория-232 и калия-40, отличается тем, что дополнительно на стандартных образцах угля с известной концентрацией тория-232 измеряют спектрально-энергетическое распределение гамма-излучения, находят ширину энергетического интервала  $\Delta E_i$  в области гамма-линии тория 2,62 МэВ, при которой величина отношения интенсивности гамма-излучения тория  $N(\text{Th})$ , измеренной при найденной ширине энергетического интервала  $\Delta E_i$ , к интенсивности гамма-излучения урана  $N(\text{U})$  с энергией 2,2 МэВ достигает максимальной контрастности к концентрации тория в угле, а зольность угля определяют по интегральной интенсивности естественного гамма-излучения угля, интенсивностям гамма-излучения урана с энергией 2,2 МэВ, гамма-излучения тория с энергией 2,62 МэВ, гамма-излучения калия с энергией 1,46 МэВ совместно с величиной отношения интенсивности гамма-излучения тория  $N(\text{Th})$ , измеренной при найденной ширине энергетического интервала  $\Delta E_i$ , к интенсивности гамма-излучения урана с энергией 2,2 МэВ. Технический результат изобретения состоит в расширении сферы применения способа за счет дополнительного измерения величины отношения интенсивности гамма-излучения тория  $N(\text{Th})$ , измеренной при найденной ширине энергетического интервала  $\Delta E_i$ , к интенсивности гамма-излучения урана  $N(\text{U})$ .

**B1**

**044540**

**044540  
B1**

Изобретение относится к физическим способам анализа углей. Оно может быть использовано для контроля зольности угля в процессе его добычи, складирования и переработки в горнодобывающей и энергетической отраслях промышленности.

Известен радиометрический способ контроля зольности углей, основанный на измерении интенсивности естественного гамма-излучения, испускаемого природными радиоактивными элементами, находящимися в составе углей (Гречухин В.В. Геофизические методы исследования угольных скважин. - М.: Недра, 1970. - С. 552.). Естественная радиоактивность ископаемых углей в основном обусловлена тяжелыми радиоактивными элементами, такими как уран-238, торий-232 и калий-40. Распространенность 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. Например, радиоактивность углей Печорского бассейна в основном определяется наличием глинистых фракций, преимущественно содержащих радионуклид  $K^{40}$ . В Экибастузских углях (Казахстан) среднее содержание урана колеблется в интервале 1,1-1,4 г/т, а тория - 3,1-4,5 г/т.

Интегрированные данные о концентрации основных радионуклидов в углях следующие: уран-238 - 9-31 Бк/Кг; торий-232 - 9-19 Бк/кг; калий-40 - 26-130 Бк/кг. В пределах каждого угольного месторождения в зависимости от возраста угля, степени метаморфизма и других факторов удельная радиоактивность каждого радионуклида может меняться. Поэтому естественная радиоактивность углей (интегральная интенсивность естественного гамма-излучения, испускаемого при распаде радионуклидов, будет зависеть от их концентрации в минеральной (золообразующей) массе угля. Отсюда однозначная связь между естественной радиоактивностью угля и его зольностью может быть при постоянном содержании радионуклидов в минеральной массе угля либо при наличии определенной закономерности изменения их концентрации в зависимости от зольности угля.

В реальной практике эти условия не выполняются, что ухудшает однозначность принятой связи и повышает погрешность определения зольности по интегральной интенсивности, которая достигает 5-7 абс. % (Филиппов Е.М. Ядерная разведка полезных ископаемых. Справочник. - Киев: Наукова Думка, 1978. - С. 588).

Наиболее близким по технической сущности и достигаемому результату является способ определения зольности, основанный на измерении интегральной интенсивности естественного гамма-излучения угля совместно с интенсивностями гамма-излучения урана-238 с энергией 2,2 МэВ, гамма-излучения тория-232 с энергией 2,62 МэВ, гамма-излучения калия-40 с энергией 1,46 МэВ (патент Республики Казахстан № 34846, 2021 г., авторы Пак Ю.Н., Пак Д.Ю., Ибатов М.К. и др).

Недостатком известного способа является невысокая чувствительность анализа высокзольных углей в условиях изменчивости компонентного состава минеральной части углей.

Задачей изобретения является повышение чувствительности определения зольности угля в большом диапазоне изменения зольности и компонентного состава минеральной части.

Технический результат изобретения состоит в расширении сферы применения способа.

Поставленная задача решается следующим образом. В процессе измерения интегральной интенсивности естественного гамма-излучения с энергией выше 350 кэВ, интенсивностей гамма-излучения урана с энергией 2,2 МэВ, тория с энергией 2,62 МэВ, калия с энергией 1,46 МэВ дополнительно на стандартных образцах угля с известной концентрацией тория-232 измеряют спектрально-энергетическое распределение гамма-излучения, находят ширину энергетического интервала  $\Delta E_i$  в области гамма-линии тория 2,62 МэВ, при которой величина отношения интенсивностей гамма-излучения тория  $N(Th)$ , измеренной при найденной ширине энергетического интервала  $\Delta E_i$ , к интенсивности гамма-излучения урана  $N(U)$  с энергией 2,2 МэВ достигает максимальной контрастности к концентрации тория в угле, а зольность угля определяют по интегральной интенсивности естественного гамма-излучения угля, интенсивностям гамма-излучения урана с энергией 2,2 МэВ, гамма-излучения тория с энергией 2,62 МэВ, гамма-излучения калия с энергией 1,46 МэВ совместно с величиной отношения интенсивности гамма-излучения тория  $N(Th)$ , измеренной при найденной ширине энергетического интервала  $\Delta E_i$ , к интенсивности гамма-излучения урана  $N(U)$  с энергией 2,2 МэВ.

В целом минеральная (золообразующая) составляющая угля представляет сложную смесь различных минеральных примесей и горных пород, таких как песчаники, глинистые минералы, известняки, доломиты, соленосные включения.

Как правило, органическая масса углей, кремнистые и карбонатные минеральные включения характеризуются низкой естественной радиоактивностью. Песчанистые и глинистые породы отмечаются повышенной естественной радиоактивностью.

В разных углях естественная радиоактивность обуславливается различными природными радионуклидами ( $U^{238}$ ,  $Th^{232}$ ,  $K^{40}$ ). Концентрации этих радионуклидов в разных углях меняются, как правило, вне зависимости от зольности угля и компонентного состава его минеральной массы.

Радионуклид  $K^{40}$  в основном содержится в глинистых включениях, входящих в минеральную (золо-

образующую) часть. Его удельная радиоактивность связана с минеральной массой угля.

Распределение тория и урана в углях весьма неравномерно и определяется совокупным влиянием неоднородности компонентного состава, различия условий их накопления и степени угольного метаморфизма.

$U^{238}$  и  $Th^{232}$  в зависимости от геохимических особенностей могут находиться в углях в разной форме. Возможна их миграция из органической составляющей в минеральную. В зоне окисления горных пород наблюдается концентрирование урана. Торий присутствует чаще всего в виде минеральных примесей в рассеянной форме.

Анализ компонентного состава золообразующей массы углей на примере Экибастузского и Карагандинского месторождений показал, что в целом имеет место обратная зависимость между суммой тяжелых золообразующих компонентов (соединения Fe, Ca) и суммой легких (соединения Al, Si, Mg). В этих соединениях преимущественно содержатся радионуклиды тория-232, калия-40 и в меньшей степени урана-238. Причем установлено, что отношение концентраций тория и урана (Th/U) в углях меняется в пределах от 3,7 (песчано-глинистые минералы) до 1,0 (соленосные минералы).

Отношение (Th/U) - важный геохимический индикатор миграции радионуклидов в структуре углей. Он позволяет учесть изменчивость компонентного состава минеральной массы угля, связанной с зольностью. Для повышения чувствительности на стандартных образцах угля с известной концентрацией тория находят оптимальную ширину энергетического интервала  $\Delta E_i$  в области линии тория 2,62 МэВ, при которой величина отношения интенсивности гамма-излучения тория  $N(Th)$ , измеренной при найденной  $\Delta E_i$ , к интенсивности гамма-излучения урана  $N(U)$  с энергией 2,2 МэВ достигает максимальной контрастности к концентрации тория.

Это позволяет повысить однозначность результатов определения зольности с учетом величины отношения интенсивности гамма-излучения тория  $N(Th)$ , измеренной при найденной ширине энергетического интервала  $\Delta E_i$ , к интенсивности гамма-излучения урана  $N(U)$  с энергией 2,2 МэВ.

Существенным отличием изобретения от прототипа является то, что дополнительно на стандартных образцах угля с известной концентрацией тория-232 измеряют спектрально-энергетическое распределение гамма-излучения, находят ширину энергетического интервала  $\Delta E_i$  в области гамма-линии тория 2,62 МэВ, при которой величина отношения интенсивности гамма-излучения тория  $N(Th)$ , измеренной при найденной ширине энергетического интервала  $\Delta E_i$ , к интенсивности гамма-излучения урана  $N(U)$  с энергией 2,2 МэВ достигает максимальной контрастности к концентрации тория в угле, а зольность угля определяют по интегральной интенсивности естественного гамма-излучения угля, интенсивностям гамма-излучения урана с энергией 2,2 МэВ, гамма-излучения тория с энергией 2,62 МэВ, гамма-излучения калия с энергией 1,46 МэВ совместно с величиной отношения интенсивности гамма-излучения тория  $N(Th)$ , измеренной при найденной ширине энергетического интервала  $\Delta E_i$ , к интенсивности гамма-излучения урана с энергией 2,2 МэВ.

Предлагаемый ядерно-радиометрический способ контроля качества апробирован на углях Экибастузского и Карагандинского месторождений. Зольность варьировала в диапазоне 14-47%. Уголь крупностью до 150 мм размещался в цилиндрической кювете диаметром и высотой 80 см. Сцинтилляционный детектор располагался по оси кюветы на глубине 40 см. Геометрия измерений и выбранные размеры измерительной кюветы обеспечили максимальную эффективность регистрации естественного гамма-излучения радионуклидов  $Th^{232}$ ,  $U^{238}$  и  $K^{40}$ . Энергетическое распределение естественного гамма-излучения углей измерялось многоканальным спектрометром АИ-1024. Оптимальная ширина энергетического интервала  $\Delta E_i$  в области линии тория 2,62 МэВ, найденная с точки зрения максимальной контрастности величины отношения интенсивности гамма-излучения тория  $N(Th)$ , измеренной при найденной  $\Delta E_i$ , к интенсивности гамма-излучения урана  $N(U)$ , составила 2,4-3,0 МэВ.

В процессе испытаний способа было проанализировано 26 проб, в которых зольность менялась в интервале 14-47% на каждой анализируемой пробе угля, измерялась интегральная интенсивность естественного гамма-излучения с энергией выше 350 кэВ, интенсивности гамма-излучений урана-238, тория-232 и калия-40, а зольность угля определялась по совокупности измеренных интенсивностей совместно с величиной отношения  $N(Th)/N(U)$ .

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

Способ	Интервал зольности, %	Чувствительность, проц. / % абс.	Погрешность, % абс.
Прототип	14-47	1,43	3,1
Предлагаемый	14-47	1,82	2,7

Предлагаемый ядерно-радиометрический способ контроля качества угля в сравнении с известным способом-прототипом характеризуется повышенной чувствительностью к зольности в большом диапазоне ее изменения и меньшей погрешностью, что существенно расширяет сферу применения способа.

Исследование выполнено за счет гранта Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (проект АР № 13067779).

## ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

Ядерно-радиометрический способ контроля качества угля, основанный на измерении интегральной интенсивности естественного гамма-излучения угля, интенсивностей естественного гамма-излучения урана-238, тория-232 и калия-40, отличающийся тем, что дополнительно на стандартных образцах угля с известной концентрацией тория-232 измеряют спектрально-энергетическое распределение гамма-излучения, находят ширину энергетического интервала  $\Delta E_i$  в области гамма-линии тория 2,62 МэВ, при которой величина отношения интенсивности гамма-излучения тория  $N(\text{Th})$ , измеренной при найденной ширине энергетического интервала  $\Delta E_i$ , к интенсивности гамма-излучения урана  $N(\text{U})$  с энергией 2,2 МэВ достигает максимальной контрастности к концентрации тория в угле, а зольность угля определяют по интегральной интенсивности естественного гамма-излучения угля, интенсивностям гамма-излучения урана с энергией 2,2 МэВ, гамма-излучения тория с энергией 2,62 МэВ, гамма-излучения калия с энергией 1,46 МэВ совместно с величиной отношения интенсивности гамма-излучения тория  $N(\text{Th})$ , измеренной при найденной ширине энергетического интервала  $\Delta E_i$ , к интенсивности гамма-излучения урана с энергией 2,2 МэВ.

