

(19)



Евразийское  
патентное  
ведомство

(11) 047642

(13) B1

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ

(45) Дата публикации и выдачи патента  
2024.08.19

(51) Int. Cl. G01N 23/223 (2006.01)  
G01V 5/12 (2006.01)

(21) Номер заявки  
202490078

(22) Дата подачи заявки  
2023.12.29

(54) ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЙ СПОСОБ РЕНТГЕНОРАДИОМЕТРИЧЕСКОГО АНАЛИЗА  
РУД СЛОЖНОГО СОСТАВА

(43) 2024.08.16

(56) KZ-B-33972  
KZ-B-34876  
SU-A1-1673936  
US-A-6130931

(96) KZ2023/0104 (KZ) 2023.12.29

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

(72) Изобретатель:  
Пак Юрий, Пак Дмитрий Юрьевич,  
Тебасва Анар Юлаевна, Айткалиев  
Ардак Куандыкович, Оспанова Сания  
Мухаметкожевна (KZ)

(57) Изобретение относится к области анализа сложных веществ ядерно-физическими способами. Задачей изобретения является повышение чувствительности и точности анализа в условиях изменчивости компонентного состава руд сложного состава. Инструментальный способ рентгенорадиометрического анализа руд сложного состава, основанный на его облучении гамма-излучением и регистрации рентгеновской флуоресценции определяемого элемента и рассеянного рудой гамма-излучения, отличающийся тем, что дополнительно на стандартных образцах руды с минимальной и максимальной концентрацией определяемого элемента измеряют энергетическое распределение вторичного от руды излучения, находят ширину энергетического окна  $\Delta E_i$  в области рентгеновской флуоресценции элемента, при которой обеспечивается минимальная относительная статистическая погрешность измерений, выраженная в долях концентрации определяемого элемента, а ширину энергетического окна  $\Delta E_s$  в области рассеянного гамма-излучения выбирают такой, чтобы при изменении концентрации определяемого элемента обеспечивалась максимальная чувствительность отношения интенсивности рентгеновской флуоресценции элемента, измеренной при найденной ширине энергетического окна  $\Delta E_i$ , к интенсивности рассеянного гамма-излучения, измеренной при выбранной ширине энергетического окна  $\Delta E_s$ , а концентрацию определяемого элемента в руде сложного состава определяют по величине отношения интенсивности рентгеновской флуоресценции элемента, измеренной при найденной ширине окна  $\Delta E_i$ , к интенсивности рассеянного гамма-излучения, измеренной при выбранной ширине окна  $\Delta E_s$ . Технический результат изобретения состоит в повышении чувствительности анализа и расширении сферы применения способа за счет нахождения оптимальной ширины окна  $\Delta E_i$  в области рентгеновской флуоресценции элемента с точки зрения минимальной погрешности анализа и оптимальной ширины окна  $\Delta E_s$  в области рассеянного гамма-излучения с точки зрения максимальной чувствительности величины отношения интенсивности рентгеновской флуоресценции определяемого элемента при  $\Delta E_i$  к интенсивности рассеянного гамма-излучения при  $\Delta E_s$  и определении концентрации элемента по величине отношения измеренных интенсивностей излучения.

B1

047642

047642

B1

Изобретение относится к ядерно-физическим способам исследования руд сложного состава.

Известен способ анализа руд, заключающийся в их облучении гамма-излучением и регистрации рентгеновского флуоресцентного излучения элемента, по интенсивности которого определяют концентрацию элемента (Мамиконян С.В. Аппаратура и методы флуоресцентного рентгенорадиометрического анализа. М.: Атомиздат, 1976, с. 170).

Недостатком известного способа является значительная погрешность анализа, обусловленная дестабилизирующим влиянием непостоянства компонентного состава (эффективного атомного номера) руд сложного состава на результаты рентгенорадиометрического способа. При этом важным аспектом рентгенорадиометрического способа является выбор оптимальной ширины энергетического окна в области рентгеновской флуоресценции определяемого элемента. В известном способе выбор ширины окна в области аналитической линии элемента осуществляется с точки зрения минимальной аппаратурной нестабильности.

Наиболее близким по технической сущности и достигаемому результату является способ, заключающийся в регистрации наряду с рентгеновской флуоресценцией элемента и рассеянного веществом гамма-излучения, а концентрацию определяемого элемента оценивают по величине спектрального отношения - отношения интенсивности рентгеновского флуоресцентного излучения элемента к интенсивности рассеянного гамма-излучения (Леман Е.П. Рентгенорадиометрический метод опробования месторождений цветных и редких металлов. Л.: Недра. 1978. с. 141-142).

При этом выбор ширины энергетического окна  $\Delta E_i$  в области рентгеновской флуоресценции определяемого элемента  $E_i$  осуществляется согласно соотношению:  $(\Delta E_i/E_i = R/2,36)$ , где  $R$  - энергетическое разрешение детектора. Ширину окна  $\Delta E_s$  в области рассеянного гамма-излучения обычно выбирают согласно неравенству  $\Delta E_s/E_s \geq \Delta E_i/E_i$ , где  $E_s$  - энергия рассеянного гамма-излучения.

Такой подход к оптимизации ширины энергетических окон  $\Delta E_i$  и  $\Delta E_s$  слабо учитывает статистическую погрешность измерений, влияние фонового излучения и контрастность (относительную чувствительность к определяемому элементу), что снижает чувствительность и точность анализа по величине отношения интенсивности рентгеновской флуоресценции элемента к интенсивности рассеянного гамма-излучения.

Задачей изобретения является повышение чувствительности и точности определения концентрации элемента в условиях изменчивости компонентного состава руд сложного состава (эффективного атомного номера).

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

Поставленная задача решается следующим образом. При облучении руды сложного состава гамма-излучением и регистрации рентгеновского флуоресцентного излучения элемента и рассеянного веществом гамма-излучения дополнительно на стандартных образцах руды с минимальной и максимальной концентрацией определяемого элемента измеряют энергетическое распределение вторичного от руды излучения, находят ширину энергетического окна  $\Delta E_i$  в области рентгеновской флуоресценции элемента, при которой обеспечивается минимальная относительная статистическая погрешность измерений, выраженная в долях концентрации определяемого элемента, а ширину энергетического окна  $\Delta E_s$  в области рассеянного гамма-излучения выбирают такой, чтобы при изменении концентрации определяемого элемента обеспечивалась максимальная чувствительность отношения интенсивности рентгеновской флуоресценции элемента, измеренной при найденной ширине энергетического окна  $\Delta E_i$ , к интенсивности рассеянного гамма-излучения, измеренной при выбранной ширине энергетического окна  $\Delta E_s$ , а концентрацию определяемого элемента в руде сложного состава определяют по величине отношения интенсивности рентгеновской флуоресценции элемента, измеренной при найденной ширине окна  $\Delta E_i$ , к интенсивности рассеянного гамма-излучения, измеренной при выбранной ширине окна  $\Delta E_s$ .

В зависимости от ширины энергетического окна  $\Delta E_i$  в области рентгеновской флуоресценции элемента  $E_i$  меняются важнейшие метрологические характеристики способа: статистическая погрешность измерений и относительная чувствительность к определяемому элементу. В целом, увеличение  $\Delta E_i$  сопровождается повышением интенсивности излучения, что приводит к уменьшению относительной статистической погрешности измерений. При этом наблюдается рост доли фонового излучения за счет рассеянного гамма-излучения, что приводит к уменьшению относительной чувствительности способа к определяемому элементу. Уменьшение относительной статистической погрешности и уменьшение относительной чувствительности качественно обратно влияют на точность анализа. Выбор оптимальной ширины окна  $\Delta E_i$  в области рентгеновской флуоресценции определяемого элемента сделан из условия обеспечения минимальной относительной статистической погрешности, выраженной в долях концентрации определяемого элемента:  $100/S \cdot \sqrt{N} = \min$ , где

$N$  - измеренная интенсивность рентгеновского излучения при ширине окна  $\Delta E_i$ ;

$S$  - относительная чувствительность к определяемому элементу, характеризующая относительное в процентах приращение интенсивности излучения  $N$  при изменении концентрации элемента в веществе на 1% абс.

Оптимальную ширину энергетического окна  $\Delta E_s$  в области рассеянного гамма-излучения выбирают из условия, чтобы при изменении концентрации определяемого элемента (от минимальной до максимальной) обеспечивалась максимальная чувствительность отношения интенсивности рентгеновской флуоресценции элемента, измеренной при найденной ширине энергетического окна  $\Delta E_i$ , к интенсивности рассеянного гамма-излучения, измеренной при выбранной ширине энергетического окна  $\Delta E_s$ .

При найденной оптимальной ширине окна  $\Delta E_i$  измеряют интенсивность рентгеновского флуоресцентного излучения  $N_i$  определяемого элемента, при выбранной ширине окна  $\Delta E_s$  измеряют интенсивность рассеянного гамма-излучения  $N_s$ , а по величине отношения интенсивностей  $N_i/N_s$  определяют содержание элемента в руде сложного состава. Интенсивности излучений  $N_i$  и  $N_s$ , измеренные при найденных значениях ширины окна  $\Delta E_i$  и  $\Delta E_s$ , позволяют повысить чувствительность анализа и минимизировать погрешность определения концентрации элемента в рудах переменного компонентного состава.

Существенным отличием изобретения от прототипа является то, что дополнительно на стандартных образцах руды с минимальной и максимальной концентрацией определяемого элемента измеряют энергетическое распределение вторичного от руды излучения, находят ширину энергетического окна  $\Delta E_i$  в области рентгеновской флуоресценции элемента, при которой обеспечивается минимальная относительная статистическая погрешность измерений, выраженная в долях концентрации определяемого элемента, а ширину энергетического окна  $\Delta E_s$  в области рассеянного гамма-излучения выбирают такой, чтобы при изменении концентрации определяемого элемента обеспечивалась максимальная чувствительность отношения интенсивности рентгеновской флуоресценции элемента, измеренной при найденной ширине энергетического окна  $\Delta E_i$ , к интенсивности рассеянного гамма-излучения, измеренной при выбранной ширине энергетического окна  $\Delta E_s$ , а концентрацию определяемого элемента в руде сложного состава определяют по величине отношения интенсивности рентгеновской флуоресценции элемента, измеренной при найденной ширине окна  $\Delta E_i$ , к интенсивности рассеянного гамма-излучения, измеренной при выбранной ширине окна  $\Delta E_s$ .

Предлагаемый способ апробирован на примере анализа руд сложного состава, содержащих кроме меди сопутствующие (близкие по атомному номеру) элементы железо и цинк. Анализируемая руда сложного состава облучается гамма-излучением от радионуклидного источника Pu-238 (~16 кэВ). Рентгеновское флуоресцентное излучение меди (~8 кэВ) и рассеянное рудой гамма-излучение (~16 кэВ) регистрировалось спектрометром РРК-103 с реперной стабилизацией и пропорциональным детектором. На основе измеренных спектров от руды с минимальным и максимальным содержанием меди найденная с точки зрения минимальной погрешности ( $100/S \cdot \sqrt{N} = \min$ ) анализа оптимальная ширина энергетического окна  $\Delta E_i$  составила 3,6 кэВ. Оптимальная ширина энергетического окна  $\Delta E_s$ , выбранная с точки зрения достижения максимальной чувствительности отношения интенсивностей  $N_i/N_s$  при изменении концентрации меди, составила 6,3 кэВ.

При найденных оптимальных значениях  $\Delta E_i$  и  $\Delta E_s$  измеряют интенсивности рентгеновской флуоресценции меди  $N_i$  и рассеянного рудой гамма-излучения  $N_s$ , а концентрацию меди в руде определяют по величине отношения интенсивностей  $N_i/N_s$ .

В таблице представлены метрологические данные, полученные в процессе апробации способов.

Способ	Диапазон изменения концентрации меди, %	Относительная чувствительность к меди, проц. / % абс.	Средняя квадратическая погрешность, % абс
	Диапазон изменения эффективного атомного номера руды		
Предлагаемый	2,4 – 11,6	5,8	1,43
	13, ! – 14,8		
Прототип	2,4 – 11,6	4,5	1,77
	13, ! – 14,8		

Предлагаемый способ в сравнении с прототипом выгодно отличается повышенной чувствительностью (почти на 29% отн.) и точностью анализа (почти на 20% отн.) в условиях изменчивости компонентного состава руды (эффективного атомного номера), что существенно расширяет сферу его применения.

#### ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

Инструментальный способ рентгенорадиометрического анализа руд сложного состава, основанный на его облучении гамма-излучением и регистрации рентгеновской флуоресценции определяемого элемента и рассеянного рудой гамма-излучения, отличающийся тем, что дополнительно на стандартных образцах руды с минимальной и максимальной концентрацией определяемого элемента измеряют энергетическое распределение вторичного от руды излучения, находят ширину энергетического окна  $\Delta E_i$  в области рентгеновской флуоресценции элемента, при которой обеспечивается минимальная относительная статистическая погрешность измерений, выраженная в долях концентрации определяемого элемента, а ширину энергетического окна  $\Delta E_s$  в области рассеянного гамма-излучения выбирают такой, чтобы при изменении концентрации определяемого элемента обеспечивалась максимальная чувствительность от-

ношения интенсивности рентгеновской флуоресценции элемента, измеренной при найденной ширине энергетического окна  $\Delta E_i$ , к интенсивности рассеянного гамма-излучения, измеренной при выбранной ширине энергетического окна  $\Delta E_s$ , а концентрацию определяемого элемента в руде сложного состава определяют по величине отношения интенсивности рентгеновской флуоресценции элемента, измеренной при найденной ширине окна  $\Delta E_i$ , к интенсивности рассеянного гамма-излучения, измеренной при выбранной ширине окна  $\Delta E_s$ .

