

## РЕНТГЕНРАДИОМЕТРИЧЕСКОЕ ОПРОБОВАНИЕ МОЛИБДЕНА ПО ПИКАМ ВЫЛЕТА КРИПТОНОВЫХ ПРОПОРЦИОНАЛЬНЫХ СЧЕТЧИКОВ

© 2008г. А. А. Тамразян

Институт геофизики и инженерной сейсмологии НАН РА

3116, г. Гюмри, В. Саркисяна, 5, Республика Армения

E-mail: iges@shirak.am

Поступила в редакцию 05.03.2008г.

В работе предлагается методика опробования молибдена, основанная на измерении характеристического рентгеновского излучения молибдена по пикам вылета от его К-линии с одновременной фильтрацией вторичного спектра алюминиевой фольгой.

Полученные результаты показывают, что предлагаемая методика существенно повышает эффективность и избирательность рентгенорадиометрического метода при опробовании молибдена.

Пики вылета, называемые также пиками потерь, получили широкое применение в рентгенорадиометрическом анализе руд тяжелых элементов по К-серии их характеристического рентгеновского излучения (Болотова и др., 1970), однако они не нашли своего применения при определении редких элементов, в частности молибдена.

В настоящей работе приведены результаты опробования молибдена по пикам вылета пропорциональных криптоновых счетчиков.

Наличие во вторичном аппаратурном спектре многократно рассеянных излучений источника первичных излучений (в нашем случае изотоп кадмий-109) затрудняет четко выделить аналитическую линию молибдена, поэтому не всегда эффективно определять молибден по основному пику его характеристического излучения. Между тем К-линия молибдена (17,5 кэВ) эффективно возбуждает в пропорциональном счетчике характеристическое излучение газа-наполнителя криптона. По отношению к собственному характеристическому рентгеновскому излучению криптон практически прозрачен, поэтому он покидает счетчик или поглощается в его корпусе, образуя четко выраженный пик вылета. Интенсивность пика вылета, которая обычно больше интенсивности основных аналитических линий молибдена, определяется потоком квантов характеристического К-излучения последнего, а его энергетическое положение во вторичном спектре – разностью энергий К-излучения молибдена и криптона.

Наличие пиков вылета, хотя и осложняет расшифровку рентгеновских спектров, однако оно может быть использовано для повышения избирательной способности рентгенорадиометрического анализа, так как разрешение по основным пикам улучшается в  $1/\sqrt{1-\frac{E_1}{E_2}}$  раз, где  $E_1$  – энергия регистрируемого фотона,  $E_2$  – энергия характеристического рентгеновского излучения газа-наполнителя (Блохин, 1959; Леман, 1978).

При определении молибдена с помощью криптоновых пропорциональных счетчиков энергия пика вылета составляет 4,9 кэВ. Для устранения фонового излучения в этой области энергии и особенно для исключения влияния железа

( $E_1 = 6,4$  кэВ) на окне детектора установили алюминиевую фольгу толщиной 0,1 мм. Толщина поглощающего фильтра подбиралась экспериментально по максимуму контрастности спектра.

Характеристическое рентгеновское излучение молибдена возбуждалось изотопом кадмий-109 (22,5 кэВ), а в качестве детектора был использован пропорциональный криптоновый счетчик СРПО-100 (СУ-11Р).

Чувствительность определения молибдена по пикам вылета, как отмечалось, намного выше, чем по линиям характеристического излучения молибдена. Это хорошо видно из рис. 1, где приведены градуировочные графики зависимости спектрального отношения  $\eta_{Mo}$  от содержания молибдена в порошковых пробах как для пика полного фотопоглощения характеристического излучения молибдена (17,5 кэВ), так и для соответствующего пика вылета (4,9 кэВ) (рис. 1).

Измерения проводились на кернах и по стенкам горных выработок Каджаранского и Анкасарского медно-молибденовых месторождений в широком телесном угле без коллимации излучений с помощью аппаратуры БРА-6.

Молибден на этих высоко-среднетемпературных гидротермальных месторождениях жильково-вкрапленного типа образует промышленные концентрации в тесной ассоциации с медью.

Участок Каджаранского месторождения сложен монцонитами и сиенитами, которые являются рудовмещающими и контролируют на западе с прорывающими их порфиридовидными гранитами и гранодиоритами, а на севере дают активные контакты с вулканогенно-осадочной толщей эоцена. Основным морфологическим типом оруденения является штокверковый с различной насыщенностью металлов, что связано с разными условиями рудоотложения на отдельных участках рудного поля. Главные ценные минералы – молибденит и халькопирит образуют более или менее густую сеть тонких кварцево-рудных и сульфидных жилков и отчасти вкрапленности в измененных монцонитах. Степень насыщенности монцонитов рудными жилками и вкрапленниками находится в прямой зависимости от степени гидротермального изменения монцонитов. Мощность рудных жилков – от долей мм до 3-5 см (Пиджян, 1975).

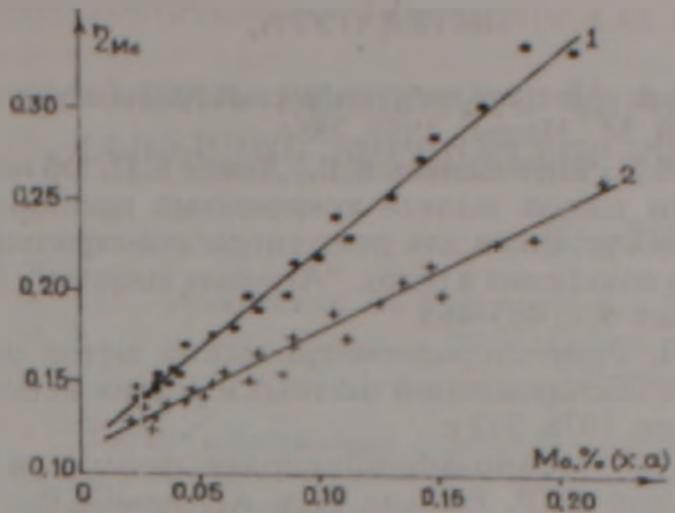


Рис. 1. Градуировочные графики для молибдена по результатам измерения порошковых проб криптоновым счетчиком по пику вылета (1) и по пику полного поглощения (2).

Анкасарское медно-молибденовое месторождение приурочено к Гярдскому интрузивному массиву, где оруденение находится в тектонической зоне северо-восточного простирания. Минеральный состав рудной зоны на месторождении не отличается большим разнообразием. Первичными рудными минералами являются халькопирит, молибденит, пирит, сфалерит, борнит, блеклые руды. Жильные минералы представлены кварцем, серицитом, хлоритом и карбонатами. Минералы зоны окисления, представленные малахитом, купритом и хризоколлой, в незначительном количестве встречаются по всей рудоносной зоне и развиваются совместно с гипогенными минералами. На месторождении практическое значение имеют первичные руды.

Халькопирит является наиболее распространенным минералом и встречается повсеместно в рудной зоне.

Молибденит является вторым главным рудным минералом. Вкрапленный молибденит, в отличие от халькопирита, более одноморфный и встречается в виде таблитчатых агрегатов. В мощных кварц-молибденовых жилах молибденит встречается в виде двух разновидностей: крупночешуйчатого и мелкозернистого. Пирит встречается повсеместно, образуя широкий ореол вокруг кварцевых жил и прожилков.

Из вышесказанного видно, что вещественный состав руд Каджаранского и Анкасарского месторождений довольно простой для применения рентгенорадиометрического метода. Единственным элементом, который может повлиять на результаты определения молибдена по пикам вылета, здесь практически является только железо, влияние которого устраняется с помощью поглощающего фильтра из алюминиевой фольги.

При опробовании горных выработок и керн скважин естественные руды практически всегда являются средами гетерогенными, состоящими из вмещающей породы, играющей роль наполнителя, и рудных включений, распределенных дискретно в виде гнезд, прожилков или вкрапленностей. Размеры рудных включений намного превосходят глубину проникновения первичных и вторичных излучений, т.е. молибденовые руды

в естественном залегании являются грубозернистыми. В таком случае, как известно (Тамразян, Леман, 1986), при реализации рентгенорадиометрического метода целесообразно использовать методику спектральной интенсивности.

Рентгенорадиометрический метод опробования керн на молибден применялся на Каджаранском медно-молибденовом месторождении. При измерении керн размещался в специальных кюветах из листового кадмия для уменьшения фона от рассеянного излучения источника, а датчик прибора БРА-6 с помощью специальной подставки, обеспечивающей постоянство геометрии измерений, помещался над кюветами. Были измерены керны общей длиной более 250 м.

Пример определения молибдена в керне представлен на рис. 2. При построении диаграммы из-за крайне неравномерного распределения руды в керне брался расширенный интервал в 3,8 м для одной пробы.

На Анкасарском месторождении руды в основном представлены пологопадающими жилами, поэтому опробование проводилось по следам вертикальных борозд. По стволу штольни было измерено более 50 вертикальных борозд общей длиной около 120 м. В штреках опробование велось по горизонтальным бороздам. На рис. 3

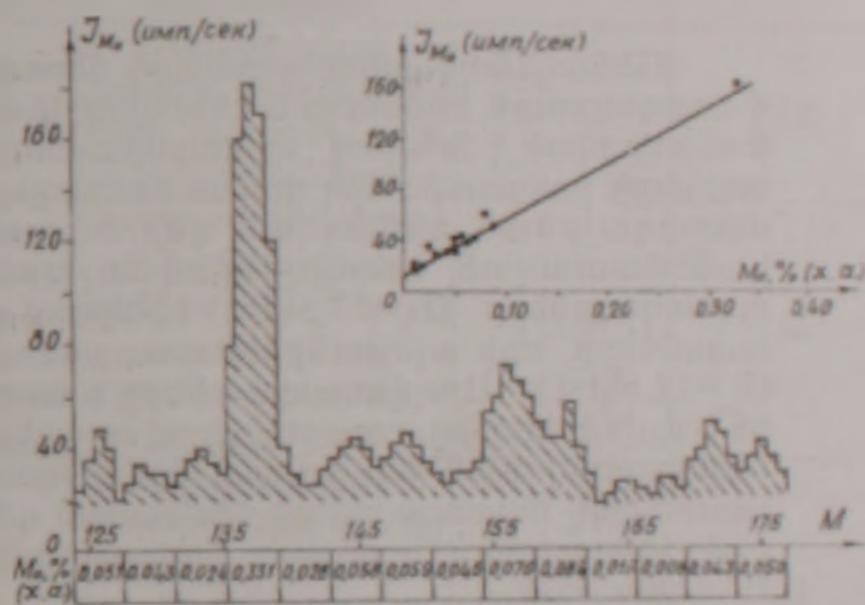


Рис. 2. Результаты рентгенорадиометрического опробования молибдена в керне (Каджаран, скв. 444)

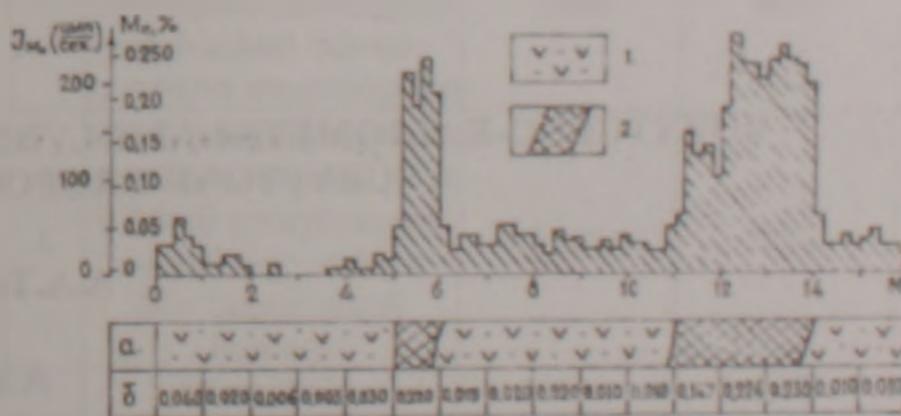


Рис. 3. Пример определения молибдена по пикам вылета при рентгенорадиометрическом опробовании горной выработки (Анкасар, шт. 4, штр. 1) а-геологическая зарисовка борозды, б- содержание молибдена по бороздovому опробованию, % 1-гидротермально-измененные гранодиориты; 2-рудная жила.

приведен пример опробования стенки в штолке I штольни №4. Следует отметить, что погрешность при ППО близка к погрешности, присущей геологическому опробованию, и вполне удовлетворяет требованиям горнодобывающих организаций.

Таким образом, предлагаемая методика, основанная на измерении интенсивности характеристического рентгеновского излучения молибдена по пикам вылета от его К-линии с одновременной фильтрацией вторичного спектра алюминиевой фольгой, установленной на окне детектора, существенно повышает избирательность рентгенорадиометрического метода.

## ЛИТЕРАТУРА

- Блохин М.А. Методы рентгено-спектральных исследований. М.: Недра, 1959, 386с.  
 Болотова Н.Г., Котельников В.В., Леман Е.П. Об исследовании пиков вылета ксеноновых пропорциональных счетчиков для рентгенорадиометрического анализа вольфрама в рудах. "Атомная энергия", 1970, т. 29, вып. 6, с. 463-465  
 Леман Е.П. Рентгенорадиометрический метод опробования месторождений цветных и редких металлов. Л.: Недра, 1978, 232 с.  
 Пиджян Г.О. Медно-молибденовая формация руд Армянской ССР. Ереван: Изд. АН АрмССР, 1975, 311с.  
 Тамразян А.А., Леман Е.П. Рентгенорадиометрический метод опробования гетерогенных руд. Ереван: Изд. АН АрмССР, 1986, 120с.

Рецензент Р.Т. Мириджян

## ՄՈԼԻԲԴԵՆԻ ՌԵՆՏԳԵՆՐԱԴԻՈՄԵՏՐԱԿԱՆ ՆՄՈՒՇԱՐԿՈՒՄԸ ԿՐԻՊՏՈՆԱՅԻՆ ՀԱՍԵՄԱՏԱԿԱՆ ՀԱՇՎԻՉՆԵՐԻ ԱՐՏԱԹՈՒՉՔԻ ԳԱԳԱԹՆԵՐՈՎ

Ա. Ա. Թամրազյան

Ա մ փ ո փ ու մ

Ռենտգենառադիոմետրական մեթոդով մոլիբդենի նմուշարկումը նրա բնութագրիչ ճառագայթման հիմնական էներգետիկ գծով միշտ չէ, որ արդյունավետ է: Դա պայմանավորված է նրանով, որ ապարատուրային երկրորդային սպեկտրում ռադիոակտիվ աղբյուրի բազմապատիկ ցրման ճառագայթները խանգարում են մոլիբդենի բնութագրիչ ճառագայթման հիմնական գծի հստակ անջատմանը: Մինչդեռ, կրիպտոնային համեմատական հաշվիչներով աշխատելու ժամանակ մոլիբդենի բնութագրիչ ճառագայթները ( $E_{\alpha} = 17,5$ կէՎ) էֆեկտիվ զրգռում են նրանցում լցված կրիպտոն գազի ատոմները, որի արդյունքում առաջանում են վերջինիս բնութագրիչ ճառագայթները ( $E = 12,6$ կէՎ): Այս ճառագայթները անարգել դուրս են թռչում հաշվիչից կամ կլանվում են հաշվիչի կողմից, առաջացնելով այսպես կոչված կորստի կամ արտանետման գազաթ: Ապարատուրային սպեկտրում այս գազաթը իր ինտենսիվությամբ չի գիջում մոլիբդենի բնութագրիչ ճառագայթների հիմնական գծի ինտենսիվությանը և տեղադրված է նրանից ձախ կրիպտոնի բնութագրիչ ճառագայթների էներգիայի չափով, այսինքն ունի 4,9կէՎ էներգիա:

Այս գազաթի էներգետիկ գծով մոլիբդենը նմուշարկելու ժամանակ միակ խսնգարիչ էլեմենտը երկաթն է, որի ազդեցությունը հեշտությամբ վերացվում է հաշվիչի պատուհանին տեղադրված 0,1մմ հաստությամբ ալյումինե կլանող զտիչի միջոցով, իսկ փոխարենը էապես բարձրանում է մեթոդի ընտրողականությունը:

## ROENTGENO-RADIOMETRIC MOLYBDENUM SAMPLING BY LOSS PEAKS OF CRYPTONE PROPORTIONAL COUNTERS

A.A. Tamrasian

Abstract

The article deals with molybdenum sampling methods based on measurements of characteristic X-ray radiation of molybdenum by loss peaks from its K-line with synchronous filtration of secondary spectrum by aluminum foil.