

## Гамма-активационный анализ $^{187}\text{Os}$ в молибденитах

*Н.П.Дикий, А.Н.Довбня, В.И.Боровлев, В.Д.Заболотный, Ю.В.Ляшко,  
Е.П.Медведева, Н.А.Шляхов, В.Л.Уваров, И.Д.Федорец<sup>1)</sup>,  
А.А.Вальтер<sup>2)</sup>, В.Е.Сторижко<sup>2)</sup>*

*ННЦ ХФТИ и <sup>1)</sup>ХГУ, г. Харьков,  
<sup>2)</sup>ИПФ НАН Украины, г. Сумы*

$^{187}\text{Os}$  используется для изучения Солнечной системы, возраста Вселенной, поиска индуцированного гамма-излучения [1,2]. Определяя отношение  $^{187}\text{Os}/^{187}\text{Re}$ , обусловленное распадом  $^{187}\text{Re}$  ( $\lambda = 1,62 \pm 0,03 \cdot 10^{-11} \text{ лет}^{-1}$ ) [3], исследуют происхождение небесных и земных объектов [4].

Молибдениты в процессе геохимических трансформаций накапливают до 1000 ppm рения [5]. По содержанию изотопов Os и Re в молибденитах оценивают возраст вмещающих пород.

В работе использовались образцы  $\text{MoS}_2$  Украинского кристаллического щита. Особенность настоящего подхода – неразрушающий анализ исследуемых образцов, содержащих Os и Re, с использованием регистрации гамма- и рентгеновского излучения от  $^{185}\text{Os}$ ,  $^{191}\text{Os} + ^{181\text{m}}\text{Ir}$ ,  $^{186}\text{Re}$ ,  $^{184}\text{Re}$ . Совместная регистрация гамма и рентгеновского излучения позволяет снизить предел обнаружения до 2 и 0,5 ppm по Os и Re соответственно и улучшить точность измерения отношений содержания определяемых изотопов.

Облучение образцов молибденитов выполнялось на ЛУЭ, ток до 1 мА, энергия 21 МэВ. Измерялась активность изотопа  $N_t$ :

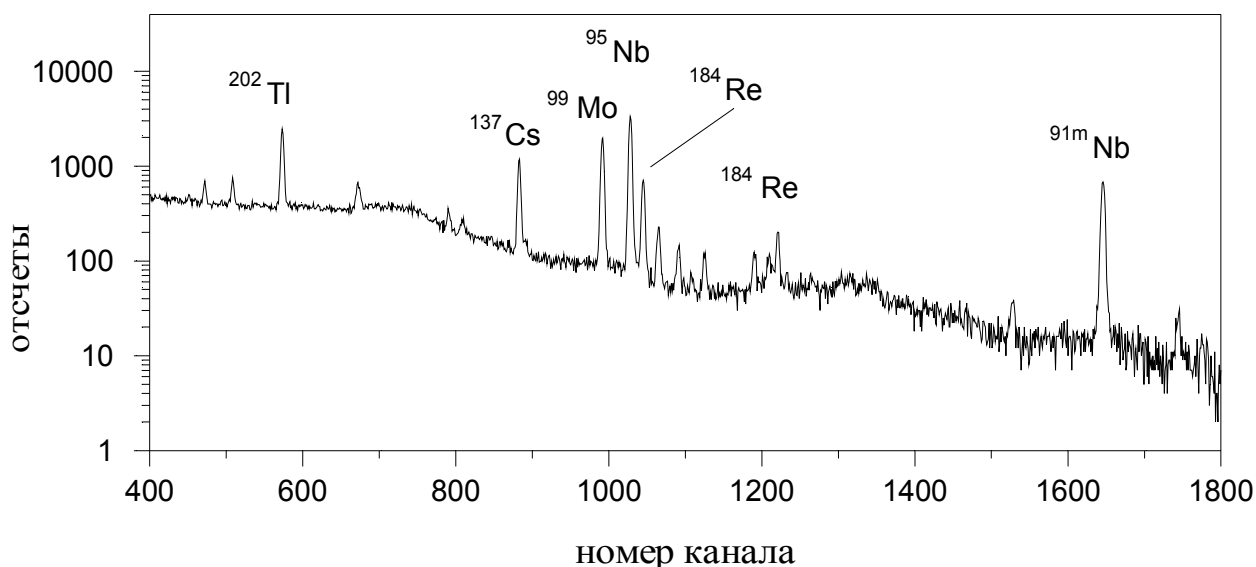
$$N_t = (\Phi \sigma_{\text{ак}} N_A / \lambda) (1 - \exp(-\lambda t_{\text{обл}})) (1 - \exp(-\lambda t_{\text{изм}}))$$

где  $\Phi$  – плотность потока активируемого излучения, частиц/( $\text{см}^2 \cdot \text{с}$ ),  $N_A$  – число исходных атомов,  $\sigma_{\text{ак}}$  – сечение активации,  $\lambda$  – постоянная распада,  $t_{\text{обл}}$  – время облучения,  $t_{\text{изм}}$  – время измерения. Если  $t_{\text{изм}}/T_{1/2}$  мало, то

$$N_t/t_{\text{изм}} = \Phi \sigma_{\text{ак}} N_A (1 - \exp(-\lambda t_{\text{обл}})) = A_d,$$

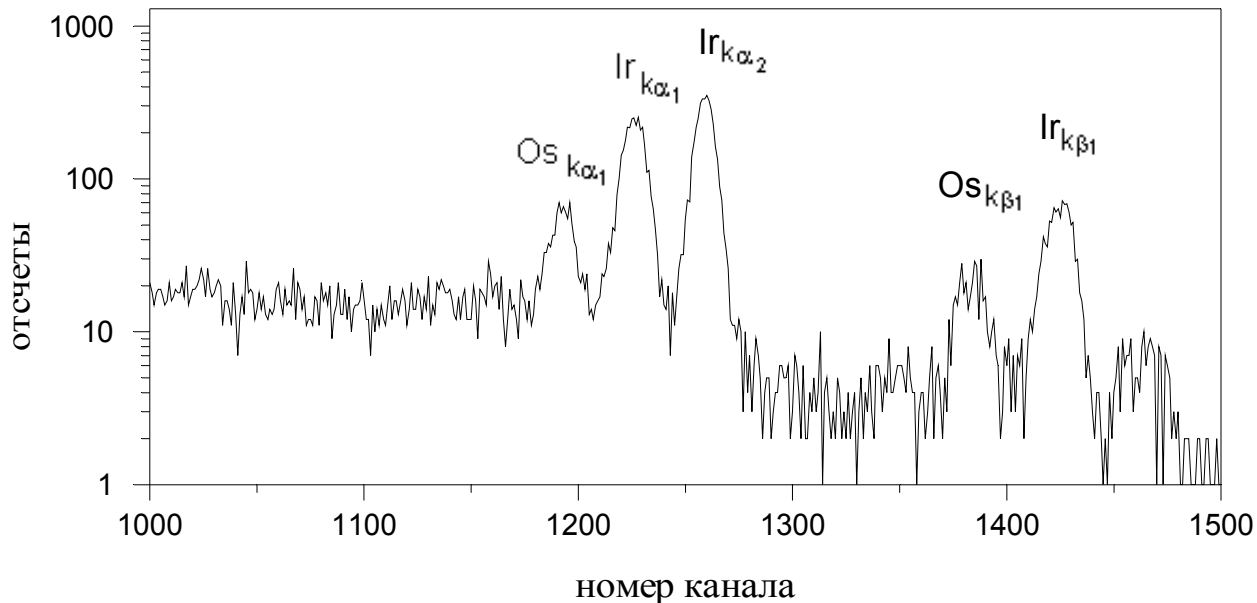
где  $A_d$  – активность радиоизотопа [6], которая линейно зависит от интенсивности пучка, что и объясняет использование сильноточного ускорителя. В нашем случае это пучок тормозного излучения от танталового конвертора толщиной 2 мм. Облучение осуществлялось в течение 10–15 суток. Измерение выполнялись после двухнедельного радиационного охлаждения образцов. Одновременно с облучением образцов для калибровки проводилось облучение Os эталона естественного изотопного состава.

Регистрация гамма-излучения осуществлялась  $\text{Ge}(\text{Li})$ -детектором объемом  $50 \text{ см}^3$  с энергетическим разрешением 1,9 кэВ по линии 1333 кэВ. Рентгеновское излучение измерялось  $\text{Si}(\text{Li})$ -детектором с толщиной чувствительной области 4 мм и разрешением по энергии 220 эВ [7].



*Рис.1. Гамма спектр молибденита после облучения на электронном ускорителе.*

Типичный спектр гамма-излучения после радиационного охлаждения образца  $\text{MoS}_2$  весом 60 мг приведен на рис. 1.



**Рис.2.** Спектр рентгеновского излучения от образца Os после облучения на электронном ускорителе.

Спектр рентгеновского излучения от образца, содержащего Os естественного изотопного состава, приведен на рис.2.

Измерение  $^{187}\text{Os}$  осуществлялось посредством реакции  $^{187}\text{Os}(\gamma, 2n)^{185}\text{Os}$  с регистрацией гамма-излучения с энергией 646,1 кэВ ( $T_{1/2} \approx 94$  сут). При использовании Si(Li)-детектора регистрировались К-линии Re (квантовый выход 67,5%) с энергией 61,14 и 59,72 кэВ. При определении Re обычно использовалось гамма-излучение с энергией 792 и 903,2 кэВ, обусловленное распадом  $^{184}\text{Re}$  ( $T_{1/2} = 38$  дня) из реакции  $^{185}\text{Re}(\gamma, n)^{184}\text{Re}$ . Отметим, что при использовании Si(Li)-детектора рентгеновское излучение от изотопов  $^{184}\text{Re}$  не интерферировало с  $^{185}\text{Os}$ . Активность после радиационного охлаждения в течение 10–15 суток от изотопа  $^{184}\text{Re}$ , была пренебрежимо мала ( $T_{1/2} = 90,64$  с квантовым выходом рентгеновского излучения 4%). Вклад от других изотопов Os определялся по выходу рентгеновского излучения распада  $^{191}\text{Os} \rightarrow ^{191\text{m}}\text{Ir}$  (64,9 и 63,29 кэВ). Линия гамма-излучения 129,4 кэВ этого распада, как правило, интерферировала с линией  $^{232}\text{Th}$  (129,1 кэВ), который присутствует в конструкциях установки.

Содержание  $^{187}\text{Os}$  в  $\text{MoS}_2$  из месторождений Украинского щита составило 3–7 ppm, а Re – от 30 до 170 ppm. Содержание других изотопов Os в молибденитах не превышало 10% (ошибка определения составляла 7%). Учитывая возраст пород (~2,3 млрд. лет) концентрация  $^{187}\text{Os}$  в данных молибденитах находилась в соответствии с расчетными данными. При распространенности  $^{187}\text{Re}$  63% и постоянной распада  $1,62 \cdot 10^{-11}$  лет $^{-1}$  концентрация  $^{187}\text{Os}$  должна составлять 2,35% от общего содержания Re. В некоторых образцах  $\text{MoS}_2$  содержание Re было меньше, чем вычисленные

значения концентрации  $^{187}\text{Re}$ . По-видимому, это обусловлено некоторым вымыванием Re из молибденитов [7].

Растворение  $\text{MoS}_2$  и выпаривание Os в виде  $\text{OsO}_4$  с последующим улавливанием в раствор NaOH позволило значительно уменьшить ошибку измерения Os. В этом случае для образца  $\text{MoS}_2$  весом 60 мг ошибка содержания Os уменьшилась до 0,8%

### Литература

1. J.T.M Luck, J.-L. Birck, C.J.Allegre Nature, 283, 256(1980).
2. В.И.Петрик, Е.Е.Антропов, и др. Тез.докл. XL11 Сов. по ядер. спектр. и структуре атом. ядра, Наука, С.-Петербург, 163(1997).
3. E.Cosulich, F.Fontanelli, G.Gallinaro et. al Nucl.Phys. A592, 59(1995).
4. P.D.Clayton Meteoritics, 27, 5(1992).
5. Мейсон Б. Основы геохимии, М., Недра, 1971, 311с.
6. Р.А.Кузнецов Активационный анализ. М., Атомиздат, 1974, 344с.
7. N.P.Dikiy, A.A.Valter, A.N.Dovbnja et al. Modern aspects of analytical chemistry, Aachen, Mainz, 189(1997).
8. S.M.Luck, C.J.Allegre Earth and Planetary Science Letters, 61, 291(1982).

Статья поступила: в редакцию 20 мая 1998 г.;  
в издательство 1 июня 1998 г.