

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОСТУПЛЕНИЯ ВЕЩЕСТВА ПРОБЫ ОГРАНИЧЕННОЙ МАССЫ В ПЛАЗМУ РАЗРЯДА

К. В. ФРАНЦКЕВИЧ

Государственное научное учреждение
«ИНСТИТУТ ТЕХНОЛОГИИ МЕТАЛЛОВ НАН Беларуси»

Могилев, Беларусь

В настоящее время актуальной задачей является контроль содержания малых количеств токсичных элементов в пробах различных биологических объектов. При этом, в случае применения атомного эмиссионного спектрального анализа, обычно используются предварительно минерализованные остатки проб, помещаемые в канал угольного электрода. Для определения содержания микропримесей в таких пробах ограниченной массы предпочтительно использовать пробу наибольшей возможной массы, заполняющей канал угольного электрода практически полностью. В этом случае представляет практический интерес изучение соотношения между содержанием примеси в контролируемой пробе и её содержанием в плазме разряда в процессе проведения атомного эмиссионного спектрального анализа.

Считаем, что в процессе проведения спектрального анализа происходит поверхностное испарение вещества пробы и граница раздела расплав пробы – плазма остается практически плоской и её площадь с течением времени не меняется. Тогда, в течение основного времени поступления вещества, исключая очень короткую начальную стадию, когда проба еще не расплавилась и заключительную стадию, площадь поверхности раздела остаётся постоянной. Так как поступление вещества происходит только с поверхности этой границы раздела, то в случае плоской границы с постоянной площадью скорость испарения вообще не зависит от массы или объема пробы.

Полагаем, что, в рассматриваемом нами случае, скорость поступления вещества пропорциональна массовой концентрации $C(t)$ вещества в навеске пробы и разности температур окружающей среды T_1 и пробы T_2 :

$$\Delta T(t) = T_2 - T_1.$$

В этом случае уравнение поступления вещества малой пробы ограниченной массы в плазму разряда можно представить в виде:

$$\frac{dm(t)}{dt} = -\gamma C(t) \Delta T(t),$$

где $m(t)$ – масса пробы в момент времени t , γ – коэффициент летучести вещества, характеризующий скорость его испарения.

Массовая концентрация контролируемого элемента в расплавленной пробе является, в общем случае, функцией времени t и, для двухкомпонентной пробы, может быть представлена в виде:

$$C(t) = \frac{m(t)}{M_{\text{пр}} + m(t)},$$

где $m(t)$ и $M(t)$ – массы определяемой примеси и основы в момент времени t соответственно.

Система дифференциальных уравнений, описывающих поступление вещества примеси (1) и основы (2) в плазму электрического разряда при спектральном анализе, с учётом принятой зависимости температуры от времени может быть представлена в виде:

$$\frac{dm(t)}{dt} = -\gamma_m \frac{m(t)}{m(t) + M(t)} \Delta T_m [1 - \exp(-at)]; \quad (1)$$

$$\frac{dM(t)}{dt} = -\gamma_M \frac{M(t)}{m(t) + M(t)} \Delta T_m [1 - \exp(-at)], \quad (2)$$

где γ_m и γ_M – коэффициенты летучести вещества малой примеси и основы соответственно.

Решая эту систему уравнений в предположении малости массы примеси по сравнению с массой всей пробы, находим зависимость массы малой примеси $m(t)$ от времени.

Полагая, что концентрация атомов анализируемого элемента в плазме определяется в основном процессами поступления вещества из пробы, считаем, что интенсивность спектральной линии пропорциональна скорости поступления элемента в плазму разряда. Тогда изменение интенсивности спектральной линии малой примеси во времени представим как:

$$I(t) \approx \left(m_0 \gamma_m \frac{\Delta T_m}{M_0} \right) [1 - \exp(-at)] \left[1 - \frac{\Delta T_m}{M_0} \gamma_M \left(t - \frac{1 - \exp(-at)}{a} \right) \right]^{\frac{\gamma_m}{\gamma_M} - 1}.$$

Анализируя полученное выражение, можно сделать вывод, что существенное влияние на характер интенсивности спектральной линии оказывает величина отношения γ_m/γ_M коэффициентов летучести основы и примеси.

Полученное выражение качественно достаточно хорошо согласуется с экспериментальными данными контроля содержания микропримесей различных элементов в пробах биологических объектов. Его использование при исследовании влияния состава проб на процессы поступления вещества в плазму разряда позволит оптимизировать условия проведения спектрального анализа различных объектов.