



Количественное определение ионов тяжелых металлов

Определение количественного содержания ионов тяжелых металлов в производственных сточных водах проводили при 298 К следующим образом:

Шаг 1) Пять образцов сточных вод объемом 10 мл каждый смешали в стакане объемом 100 мл и перемешивали на магнитной мешалке в течение 5 минут.

Шаг 2) Из стакана взяли аликвоту объемом 10 мл, при перемешивании добавили 142 мг Na_2SO_4 и перенесли в трехэлектродную ячейку (рис. 1а). В этой электрохимической ячейке Pt проволока, Ag/AgCl (3 М KCl) и Pt фольга служат рабочим электродом, электродом сравнения и вспомогательным электродом, соответственно.

Шаг 3) Эти электроды подключили к потенциостату и прикладывали постоянный потенциал -0.50 В относительно Ag/AgCl в течение 14 минут (горизонтальная линия на рис. 1б). Считайте, что 14 минут достаточно для полного протекания всех необходимых реакций.

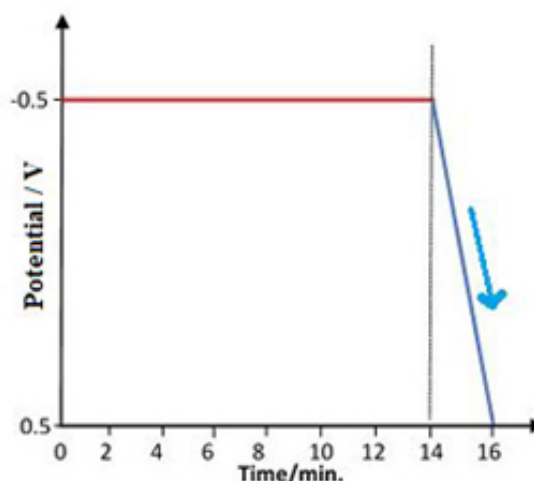
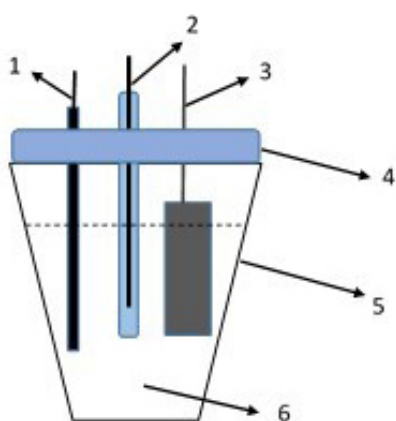


Рис 1. а) Устройство электрохимической ячейки; 1) Рабочий электрод (Pt проволока), 2) электрод сравнения (Ag/AgCl, 3М KCl), 3) вспомогательный электрод (Pt фольга), 4) крышка, 5) сосуд, 6) 10 мл исследуемого раствора. **б)** Потенциал рабочего электрода как функция времени. Ось y: потенциал, В относительно Ag/AgCl, ось x: время, мин.

Шаг 4) Электроды промыли дистиллированной водой, поместили в другую ячейку, содержащую 10 мл 0.1 М раствора H_2SO_4 , и выполнили развертку потенциала от -0.50 до $+0.50$ В, как показано на рис. 1б (наклонный участок длительностью 2 минуты). График зависимости тока от потенциала на этом шаге приведен на рис. 2а – он напоминает *гору Апарат (Ağrı Dağı)*, самую высокую гору в Турции (рис. 2б).

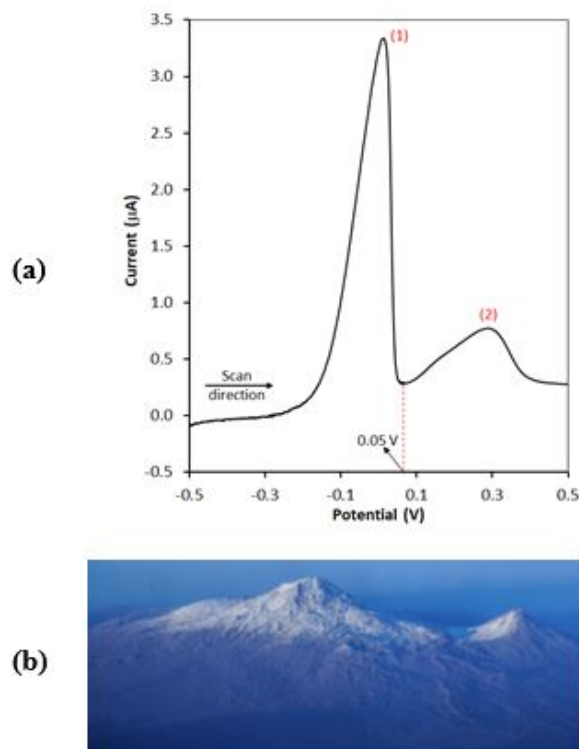
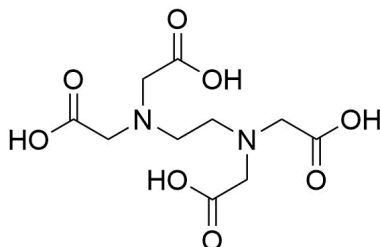


Рис. 2. а) Потенциал рабочего электрода и соответствующий ток в 0.1 М растворе H_2SO_4 после выдерживания его в образце сточных вод объемом 10 мл при потенциале -0.50 В (горизонтальный участок на рис. 1b). Ось y: ток, мкА, ось x: потенциал, В относительно Ag/AgCl , б) Вид на пики Большой и Малый Арарат.

Шаг 5) Другую аликвоту объемом 10 мл раствора из *шага 1* подвергли действиям, описанным в *шагах 2 и 3*. После этого электроды промыли дистиллированной водой и поместили в 10 мл раствора 0.1 М H_2SO_4 . Затем потенциал рабочего электрода поддерживали равным $+0.05$ В в течение 14 минут. Считайте, что 14 минут достаточно для полного протекания всех необходимых реакций.

Шаг 6) Раствор, получившийся в результате *шага 5*, поместили в печь и выпарили при 150°C до суха.

Шаг 7) К твердому продукту из *шага 6* добавили 5 мл раствора этилендиаминтетрауксусной кислоты (ЭДТА, H_4Y) (рис. 3) и перемешивали до растворения. Известно, что 1 мл данного раствора ЭДТА эквивалентен 3.85 мг BaCO_3 . Затем pH раствора довели до 10.0. Избыток ЭДТА титровали стандартным раствором 0.0010 М $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$, при этом было израсходовано 95.60 мл этого раствора.

Рисунок 3. Структурная формула ЭДТА (H₄Y).

- В насыщенном водном растворе H₂S равновесная концентрация [H₂S] равна 0.1 М.
- $K_{sp}(\text{NiS}) = 4.0 \times 10^{-20}$; $K_{sp}(\text{CuS}) = 1.0 \times 10^{-36}$
- $K_{a1}(\text{H}_2\text{S}) = 9.6 \times 10^{-8}$; $K_{a2}(\text{H}_2\text{S}) = 1.3 \times 10^{-14}$

Реакция	E°, В (при 298 К)
$2\text{H}_2\text{O}(\text{ж}) + 2e^- \rightarrow \text{H}_2(\text{г}) + 2\text{OH}^-(\text{aq})$	-0.83
$\text{Ni}^{2+}(\text{aq}) + 2e^- \rightarrow \text{Ni}(\text{тв})$	-0.24
$2\text{H}^+(\text{aq}) + 2e^- \rightarrow \text{H}_2(\text{г})$	0.00
$\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + 2e^- \rightarrow \text{Cu}(\text{тв})$	+0.34
$\text{Ag}^+(\text{aq}) + e^- \rightarrow \text{Ag}(\text{тв})$	+0.80
$\text{O}_2(\text{г}) + 4\text{H}^+(\text{aq}) + 4e^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}(\text{ж})$	+1.23

9.1 Чем обусловлены пик 1 и пик 2 на рис. 2а? Поставьте галочку в подходящий квадратик в листе ответов. 5.0pt

9.2 Какое из утверждений окажется верным, если на первом участке (горизонтальная линия на рис. 1b) приложить потенциал -1.2 В вместо -0.5 В? Поставьте галочку в подходящий квадратик в листе ответов. 5.0pt

9.3 Рассчитайте скорость развертки по данным рис. 2а в мВ/с при 298 К. 8.0pt

Потенциал нижеприведенной ячейки равен 0.437 В.

$\text{Pt}, \text{H}_2 (0.92 \text{ бар}) | \text{HCl} (1.50 \times 10^{-2} \text{ М}), \text{AgCl} (\text{насыщ.}) | \text{Ag}$

9.4 Рассчитайте стандартный электродный потенциал (В) пары $\text{AgCl}(\text{тв}) + e^- \rightarrow \text{Ag}(\text{тв}) + \text{Cl}^-(\text{aq})$ при 298 К.
Указание: Приведите все расчеты. 16.0pt

9.5 Какова основная цель шага 5? Поставьте галочку в подходящий квадратик в листе ответов. 5.0pt



9.6 **Запишите** в листах ответов сокращенные ионные уравнения реакций комплексообразования и обратного титрования на *шаге 7*. 6.0pt

9.7 **Рассчитайте** концентрацию Ni^{2+} в мг/л в производственных сточных водах. 25.0pt
Указание: Приведите все расчеты.

9.8 **Рассчитайте** минимальное значение pH, при котором может начаться выпадение Ni^{2+} из раствора, полученного на *шаге 5*, при пропускании через него H_2S до насыщения. Если вы не в состоянии ответить на вопрос **9.7**, примите концентрацию Ni^{2+} равной 20 мг/л. 30.0pt
Указание: Приведите все расчеты.