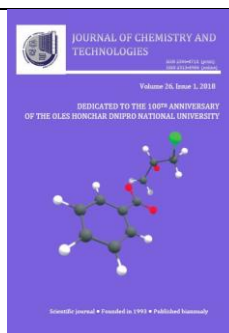




Journal of Chemistry and Technologies

pISSN 2306-871X (Print), ISSN 2313-4984 (Online)

journal homepage: <http://chemistry.dnu.dp.ua>



UDC 543.24:546.492

STUDY OF THE INTERACTION OF Hg (II) WITH POTASSIUM TRIIODIDE UNDER THE CONDITIONS OF ELECTROTITRIMETRY

Maryna V. Manzyuk¹, Olexander K. Balalayev², Tatjana N. Avdienko¹, Olena V. Volnyanska, Mykola V. Nikolenko¹

¹Ukrainian State University of Chemical Technology, 8 Gagarin Ave, Dnipro, Ukraine

²Institute of Geotechnical Mechanics of NASU, Dnipro, Ukraine

Received 02 October 2017; revised 08 January 2018; accepted 26 February 2018

Abstract

The processes of interaction of mercury(II) with potassium triiodide have been studied in various media by potentiometric and biampereometric methods. It was concluded that acetate buffer solutions with pH 4–6 are the optimal background electrolyte. It has been established that the formation of the final products i.e. HgI₂ and Hg(IO₃)₂ proceeds with the formation of intermediate mixed complexes with acetate ions. It was shown that the platinum electrode is amalgamated as a result of continuous work with solutions of mercury. In connection with this, the anomalous curves of biampereometric titration of mercury (II) with KI₃ solution were obtained. In potentiometric titration, a decisive contribution to the magnitude of the potential is made by mixed oxidation-reduction potentials. The obtained results were used for the development of the procedure for the determination of mercury (II) by potassium triiodide with fixation of the equivalence point by electrochemical methods.

Keywords: mercury(II); multiligand complexes; potassium triiodide; electrochemical methods.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВЗАЄМОДІЇ Hg(II) З КАЛІЙ ТРИЙОДИДОМ В УМОВАХ ЕЛЕКТРОТИТРИМЕТРІЇ

Марина В. Манзюк¹, Олександр К. Балалаєв², Татяна Н. Авдієнко¹, Олена В. Волнянська¹, Микола В. Ніколенко¹

¹Державний вищий навчальний заклад «Український державний хіміко-технологічний університет», просп. Гагаріна, 8, Дніпро, Україна

²Інститут геотехнічної механіки НАН України, 2А, вул. Сімферопольська, Дніпро, Україна

Анотація

Досліджено процеси взаємодії ртуті(II) з калій трийодидом у різних середовищах потенціометричним та біамперометричним методами. Зроблено висновок, що оптимальним фоновим електролітом є ацетатні буферні розчини з рН 4–6. Встановлено, що утворення кінцевих продуктів HgI₂ і Hg(IO₃)₂ протікає з формуванням проміжних різнолігандних комплексів з ацетат-іонами. Показано, що при постійній роботі з розчинами ртуті відбувається амальгамування платинового електроду. При цьому фіксуються аномальні криві біамперометричного титрування ртуті(II) розчином KI₃. При потенціометричному титруванні вирішальний вклад у величину потенціалу, що виникає, вносять змішані окисно-відновні потенціали. Отримані дані покладено в основу методики визначення ртуті(II) калій трийодидом з фіксацією точки еквівалентності електрохімічними методами.

Ключові слова: ртуть(II), різнолігандні комплекси, калій трийодид; електрохімічні методи.

*Corresponding author: tel.: +380679539085; e-mail: manzyuk.marina@gmail.com

©2018 Oles Honchar Dnipro National University

doi: 10.15421/081805

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ Hg(II) С ТРИЙОДИДОМ КАЛИЯ В УСЛОВИЯХ ЭЛЕКТРОТИТРИМЕТРИИ

Марина В. Манзюк¹, Александр К. Балалаев², Татьяна Н. Авдиенко¹, Елена В. Волнянская¹,
Николай В. Николенко¹

¹Государственное высшее учебное заведение «Украинский государственный химико-технологический университет»,
просп. Гагарина, 8, Днепро, Украина

²Институт геотехнической механики НАН Украины, 2А, ул. Симферопольская, Днепро, Украина

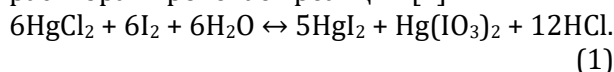
Аннотация

Изучены процессы взаимодействия ртути(II) с трийодидом калия в различных средах потенциометрическим и биамперометрическим методами. Сделан вывод, что оптимальным фоновым электролитом являются ацетатные буферные растворы с pH 4–6. Установлено, что образование конечных продуктов HgI₂ и Hg(IO₃)₂ протекает с образованием промежуточных разнолигандных комплексов с ацетат-ионами. Показано, что при постоянной работе с растворами ртути происходит амальгамирование платинового электрода. При этом фиксируются аномальные кривые биамперометрического титрования ртути(II) раствором KI₃. При потенциометрическом титровании решающий вклад в величину возникающего потенциала вносят смешанные окислительно-восстановительные потенциалы. Полученные данные положены в основу методики определения ртути(II) трийодидом калия с фиксацией точки эквивалентности электрохимическими методами.

Ключевые слова: ртуть(II); разнолигандные комплексы; трийодид калия; электрохимические методы.

Введение

Известно, что соли двухвалентной ртути, включая хлорид ртути(II), повышают окислительный потенциал растворов йода, поскольку йодид-ионы реагируют с этими веществами, образуя малодиссоциированный йодид ртути(II) и комплексные йодомеркуриаты. Окислительный потенциал в этом случае возрастает настолько, что происходит «самоокисление» йода до йодата, при этом свободный йод выводится из раствора. Известно, что в нейтральных растворах протекает реакция [1]:



Потенциал платинового электрода, погруженного в раствор 0.01 н. по содержанию йода и 0.01 н. по содержанию йодида, был измерен по отношению к насыщенному каломельному электроду при 25 °С и 2 н. серной кислоты составлял 0.971 В в отличие от стандартного потенциала для пары I₂/2I⁻ равным 0.54 В [1].

Ранее установлено, что трийодид калия может быть использован в качестве титранта в анализе металлов, образующих малорастворимые соединения [2–7]. Так, при добавлении порции титранта KI₃ к раствору серебра(I) происходит связывание йодид-ионов в малорастворимый осадок AgI, а свободный йод диспропорционирует с образованием йодида и йодата серебра(I) [2]. Такие процессы проходят при каждом добавлении порции титранта к раствору Ag(I) до полного его связывания в

малорастворимые осадки AgI и AgIO₃. Данные литературы и полученные экспериментальные данные позволили установить, что подобные процессы могут протекать и при титровании трийодидом калия ртути(II), образующей малорастворимые йодиды и йодаты [3]. При этом были получены аномальные кривые биамперометрического титрования. В процессе дальнейших исследований представлялось актуальным изучение процессов взаимодействия Hg(II) с трийодидом калия с целью ее количественного определения с использованием аномальных кривых.

Целью данной работы являлось установление химизма реакций, протекающих при взаимодействии ртути(II) с трийодидом калия в различных средах, и разработка на этой основе методик определения ртути(II) методом биамперометрического и потенциометрического титрования.

Методы исследования

Растворы Hg(NO₃)₂ концентрацией 0.1 моль/л готовили растворением навески массой 1.7 г Hg₂(NO₃)₂·0.5 H₂O соответственно в 0.1 М HNO₃, растворы доводили до метки 100 мл. Точную концентрацию устанавливали титриметрически по 0.1 моль/л раствору NaCl [8]. Растворы необходимой концентрации готовили непосредственно перед началом работы.

В работе использовали раствор KI₃ с концентрацией по йоду 0.05 моль-экв/л,

приготовленный из фиксанала. Смеси растворов $KI_3 + KI$ с различным молярным соотношением $[I^-] : [I_2] = n$ готовили с использованием раствора KI с концентрацией 0.1 моль/л. Растворы KI и KI_3 необходимой концентрации готовили непосредственно перед началом анализа. В качестве фоновых электролитов использовали растворы CH_3COOH (HAc), CH_3COONa (NaAc), а также ацетатные буферные растворы с $pH=4-6$. Все препараты, использованные при проведении экспериментальных исследований, соответствовали марке «х.ч.».

Для определения конечной точки титрования изучаемых реакций ртути(II) с трийодидом калия в качестве аналитического сигнала использовали изменение силы тока при реализации метода амперометрического титрования с двумя индикаторными электродами (биамперометрическое титрование). Биамперометрическое титрование проводили на амперометрической установке с двумя поляризованными платиновыми электродами – биамперометрическом анализаторе БАН-УНИИЗ. Налагаемое ЭДС составляло 0.02–0.1 В. Потенциометрические измерения осуществляли при помощи рН-метра-милливольтметра рН-340 с платиновым индикаторным электродом и насыщенным каломельным электродом сравнения. Перемешивание титруемого раствора проводили магнитной мешалкой. Для всех титриметрических определений использовали микробюретку на 5 мл с ценой деления 0.02 мл.

ИК-спектры промежуточных разнолигандных соединений $Hg(II)$ регистрировали на ИК-Фурье спектрометре Nicolet IS10 (Thermo scientific, USA). Рентгенофазовый анализ проводили на дифрактометре ДРОН-3 с использованием $Cu-K_{\alpha}$ -излучения.

Результаты и их обсуждение

При титровании ртути(II) трийодидом калия на фоне 1 М H_2SO_4 с использованием биамперометрического метода для фиксации точки эквивалентности были получены аномальные кривые, представленные на рис. 1, кривая 1. После добавления первых порций KI_3 к раствору $Hg(II)$ наблюдается рост тока и образуется светло-желтый осадок. Окраска осадка при последующем прибавлении KI_3 переходила в оранжевую в т.э.

Известно, что ртуть(II) может образовывать разнолигандные комплексы при взаимодействии как с неорганическими, так и с органическими реагентами [9]. Однако наиболее широкое применение в различных сферах нашли комплексы с органическими лигандами [10–14]. Особую роль среди реагентов занимают серосодержащие соединения. Так, в условиях титриметрии при взаимодействии 8-меркаптохинолина с ионами Hg^{2+} образуются комплексы в системах $Hg^{2+}-Cl-C_9H_6NSH$, $Hg^{2+}-CH_3COONa-C_9H_6NSH$, $Hg(NO_3)_2-(KBr, KI)-H_2SO_4-C_9H_6NSH$ [9]. Причем, на кривых амперометрического титрования с одним индикаторным электродом ртути(II) 8-меркаптохинолином диффузионный ток вначале резко возрастает при добавлении первых порций титранта, а потом уменьшается. С увеличением концентрации ртути(II) высота пика синхронно возрастает. Значит, появление тока нельзя объяснить окислением реагента, возникающим по причине растворимости внутрикомплексного соединения ртути(II) с 8-меркаптохинолином. Причина аномальности кривой состоит в образовании промежуточных электроактивных комплексов [15].

Согласно закономерностям [16], ацетофильные катионы Hg^{2+} , In^{3+} , Cu^{2+} , Ga^{3+} , Zn^{2+} и др. при взаимодействии с 8-меркаптохинолином образуют в присутствии ацетат-ионов соответствующие разнолигандные комплексы – ацетат-8-меркаптохинолинаты. В присутствии сульфат-ионов разнолигандные соединения с 8-меркаптохинолином образуют следующие ионы металлов: Ag^+ , Cu^{2+} , Tl^{3+} , Hg^{2+} и Hg_2^{2+} . Также известно, что в условиях электрохимического титрования в анализируемом растворе присутствуют определяемый катион и анионы фона, часто играющие роль лигандов (Cl^- , SO_4^{2-} , CH_3COO^- и др.) [15]. Причем, в условиях анализа концентрация последних на несколько порядков выше, чем катиона металла. При этом, с титрантом могут взаимодействовать либо гидратированный ион металла, либо непосредственно комплексы с неорганическим или органическим аддендом, образуя разнолигандные комплексы.

Таким образом, аномальный ход кривых титрования ртути(II) трийодидом калия можно объяснить образованием промежуточных разнолигандных комплексов.

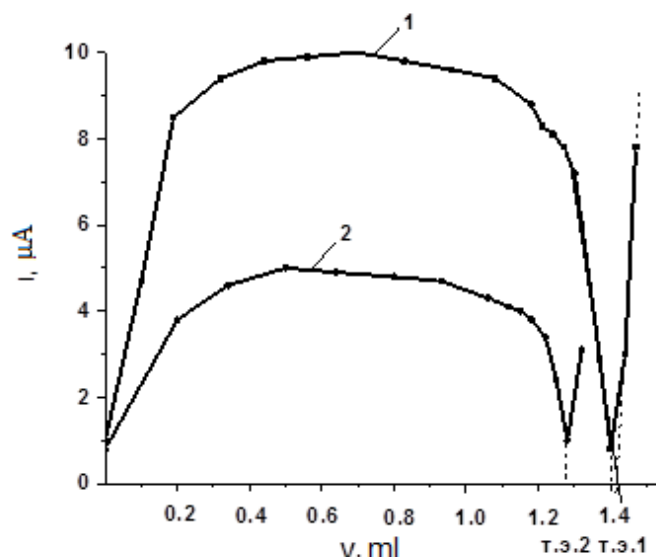
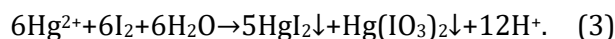


Fig. 1. Biampometric titration curves of 0.5 ml 0.096 M mercury(II) with potassium triiodide ($C = 0.025 M$): 1 - on the background of 1 M H_2SO_4 , $\Delta E = 0.05 V$; 2 - on the background of $HAc + NaAc$ ($pH = 6$), $\Delta E = 0.02 V$.

Рис. 1. Кривые биамперометрического титрования 0.5 мл 0.096 М ртути(II) трийодидом калия ($C = 0.025 M$): 1 - на фоне 1 М H_2SO_4 , $\Delta E = 0.05 V$; 2 - на фоне $HAc + NaAc$ ($pH = 6$), $\Delta E = 0.02 V$.

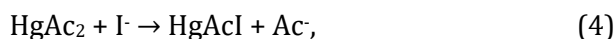
Полученные результаты, а также данные литературы [1] с учетом уравнения (1) позволяют сделать вывод, что ртуть(II), реагирует не только с KI , но и с I_2 , и в растворе одновременно проходят две реакции:



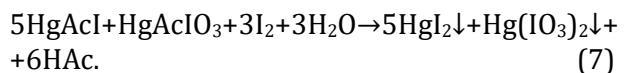
Количественное взаимодействие ионов металлов с трийодидом калия, в том числе и ртути(II), зависит от pH раствора [2]. Полученные неудовлетворительные результаты по определению ртути(II) трийодидом калия на фоне серной кислоты обусловлены влиянием кислотности. Практический объем титранта в т.э. не совпадал с рассчитанным теоретически и был завышенным. Поэтому в качестве оптимального интервала кислотности выбран фон с pH 4–6 (ацетатные буферные растворы).

При титровании ртути(II) трийодидом калия с фиксацией т.э. биамперометрическим методом были также получены аномальные кривые (рис. 1, кривая 2), форма которых обусловлена образованием промежуточных разнолигандных комплексов. Известно, что в растворах, содержащих ацетат-ионы, ртуть(II) находится в виде соответствующих устойчивых комплексных соединений [14], причем соединения $Hg(CH_3COO)_2$ отличаются довольно высокой устойчивостью ($K_{уст} = 2 \cdot 10^8$). Исходя из наблюдаемых визуальных эффектов и практического расхода трийодида

калия на взаимодействие со ртутью(II) на фоне ацетатных буферных растворов, протекающие реакции схематично можно представить следующим образом. Сначала формируются промежуточные разнолигандные комплексные соединения:



В дальнейшем происходит полное вытеснение ацетат-ионов с образованием в конечной точке титрования смеси HgI_2 и $Hg(IO_3)_2$.



Для подтверждения состава осадков образующиеся промежуточные разнолигандные соединения (реакции 4 и 5) и конечные продукты реакции взаимодействия ртути(II) с трийодидом калия (реакции 6 и 7) были выделены в кристаллическом виде.

В ИК-спектрах солей уксусной кислоты значительные изменения происходят в области $1200-1800 \text{ см}^{-1}$ в сравнении со спектрами уксусной кислоты. Полосы, соответствующие $C-O$ и $C=O$ колебаниям уксусной кислоты (1266 и 1770 см^{-1}) [17] исчезают и появляются полосы карбоксилат-аниона 1420 см^{-1} и 1558 см^{-1} , соответствующие

симметричному и антисимметричному валентному колебанию связей COO^- . Широкий диффузный пик с максимумом 3420 см^{-1} и пик 1643 см^{-1} отражают валентные и деформационные колебания OH^- связей координированных молекул воды. Полоса с максимумом 1025 см^{-1} принадлежит колебаниям связи C-O вследствие координации металлом, когда отрицательный заряд сосредоточен на одном атоме кислорода.

Дифрактограмма продуктов реакции (рис. 3) показывает, что в составе осадка, полученного в точке эквивалентности, присутствует HgI_2 . Наличие йодат-ионов в составе осадков контролировали качественно по методике [16].

Кривые биамперометрического титрования (рис. 4), полученные с применением платиновых электродов, которые длительное время использовались при исследовании реакций ртути(II), отличались от приведенных ранее на рис. 1.

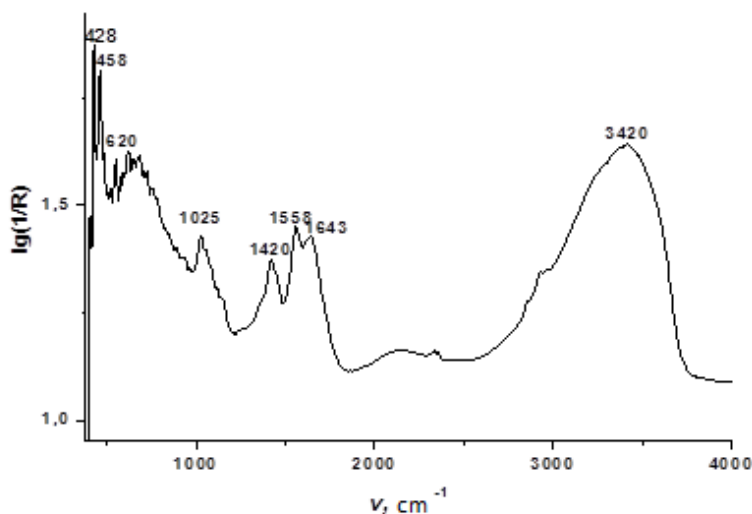


Fig. 2. IR absorption spectrum of a sample of intermediate mixed ligand complexes of mercury(II).

Рис. 2. ИК-спектр поглощения образца промежуточных разнолигандных комплексов ртути(II).

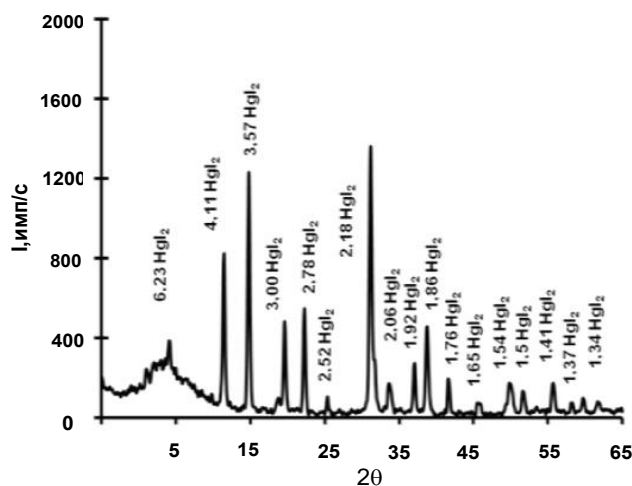


Fig. 3. X-ray diffraction pattern of the precipitate obtained by the interaction of mercury (II) with potassium triiodide ($\text{Cu-K}\alpha$ radiation).

Рис. 3. Рентгеновская дифрактограмма осадка, полученного при взаимодействии ртути(II) с трийодидом калия ($\text{Cu-K}\alpha$ излучение).

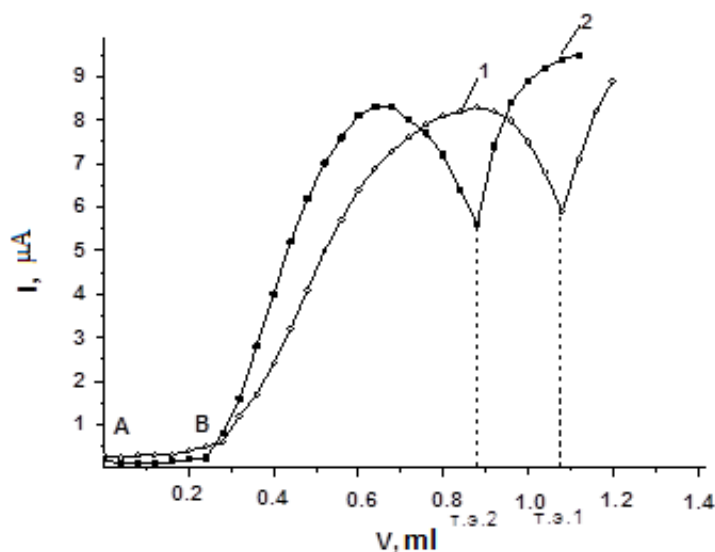


Рис. 4. Curves of biampereometric titration of 2 ml 0.01 M mercury(II) with potassium triiodide $C = 0.01$ M: 1 - $n=1.6$; 2 - $n=2.5$, $\Delta E=0.05$ V; ($n=I/I_2$).

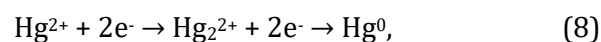
Рис. 4. Кривые биамперометрического титрования 2 мл $1.0 \cdot 10^{-2}$ M ртути(II) трийодидом калия $C = 0.01$ M: 1 - $n=1.6$; 2 - $n=2.5$, $\Delta E=0.05$ V; ($n=I/I_2$).

При добавлении первых порций титранта KI_3 к раствору ртути(II) ток на кривых титрования практически не изменялся. Такие явления могут наблюдаться при пассивации платинового электрода. В основе явления могут лежать различные причины, но все они приводят к возрастанию сопротивления цепи, вследствие увеличения переходного сопротивления на границе электрод-раствор, и связаны, следовательно, с состоянием поверхности платинового электрода [18]. Изменение поверхности электрода может наступить в результате адсорбционных явлений, не связанных с разрядом на электроде того или иного вещества или непосредственно в результате электродного процесса [19; 20].

Изменение поверхности электрода за счет выделения металла не всегда учитывается исследователями, считающими, что они работают с платиновым электродом, тогда как в действительности он покрыт другим металлом, который может себя вести иначе, чем платина. Как известно, количество металла, выделяемого на электроде за время титрования настолько мало, что его не принимают во внимание, однако его вполне достаточно, чтобы покрыть электрод хотя бы мономолекулярным слоем и тем самым придать ему иные свойства [18].

Известно, что при титровании ртути(II) йодидом калия при преимущественной катодной поляризации форма кривой имеет

аномальный вид [20]. Причина этого явления в том, что на поверхности платинового электрода (до того, как все ионы ртути(II) оказываются связанными в осадок) выделяется металлическая ртуть,



которая затем в присутствии йодид-ионов электрохимически окисляется по реакции [20]:



Таким образом, аномальную форму кривых амперометрического титрования с двумя индикаторными электродами (рис. 4) в условиях амальгамирования катода (при постоянной работе с растворами ртути) и способности образовавшихся промежуточных комплексов окисляться на платиновом электроде можно объяснить следующим образом. Вначале металлическая ртуть электрохимически окисляется в присутствии йодид-ионов (участок АВ, рис. 4), а затем наблюдается резкий рост диффузионного тока за счет образования промежуточных разнолигандных комплексных соединений предполагаемого состава $HgAcI$ и $HgAcIO_3$.

Установлено, что практический расход титранта KI_3 на титрование ртути(II) с биамперометрической фиксацией т.э. как в случае применения двух платиновых индикаторных электродов, так и с амальгмированным электродом (в случае

длительной работы с растворами ртути) совпадает с теоретически рассчитанным. Следовательно, можно проводить анализ без дополнительной обработки платиновых электродов после каждого титрования ртути(II) трийодидом калия.

Согласно проведенным исследованиям [21] для определения серебра(I) методом потенциометрического титрования с использованием в качестве индикаторного серебряного, ртутного, платинового и графитового электродов установлено, что в зависимости от материала электрода, концентрации серебра(I) на фоне серной кислоты, получены различные величины скачка потенциалов, а также начальные и конечные значения потенциала. В определенных условиях проведения эксперимента получены аномальные потенциометрические кривые. Нами была

также проверена возможность потенциометрического титрования ртути(II) трийодидом калия с использованием в качестве индикаторного – платинового электрода, в качестве электрода сравнения – насыщенного каломельного. Данные литературы [21] свидетельствуют о возможности использования в методе потенциометрического титрования в качестве индикаторного электрода платинового электрода при протекании в растворе различных типов реакций (в т.ч. и осаждения). Поскольку поверхность платинового электрода не обновляется во время титрования, можно предположить, что кривые титрования ртути(II) трийодидом калия должны получаться менее четкими, чем на ртутном. Нами получены аномальные кривые с двумя скачками потенциалов (рис. 5).

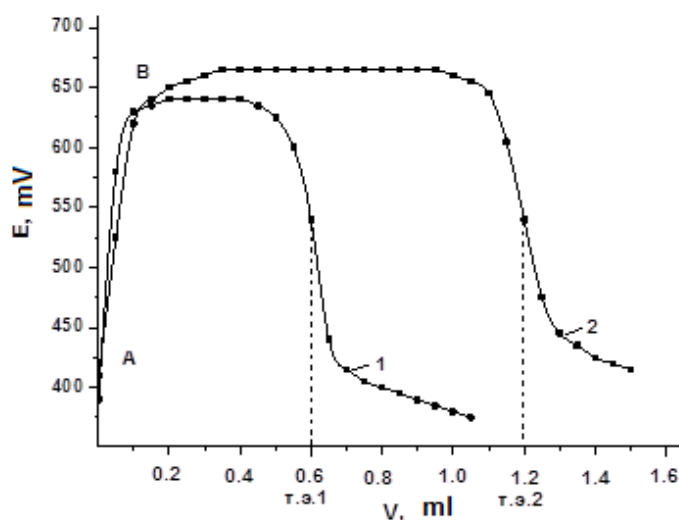


Fig. 5. Curves of potentiometric titration of 0.01 M mercury(II) with 0.02 M potassium triiodide ($n=1.22$): 1 – 2 ml Hg^{2+} , 2 – 4 ml Hg^{2+} .

Рис. 5. Кривые потенциометрического титрования 0.01 М растворов ртути(II) 0.02 М трийодидом калия ($n=1.22$): 1 – 2 мл Hg^{2+} , 2 – 4 мл Hg^{2+} .

Добавление первых порций трийодида калия к раствору ртути(II) (участок АВ, рис. 5) сопровождается относительно резким увеличением потенциала, который остается практически постоянным в процессе дальнейшего титрования (до точки эквивалентности). Такой скачок можно объяснить возникновением смешанного потенциала. Известно, что для электрохимически необратимых пар на платине могут возникать смешанные потенциалы ($E_{см.}$) [22]. В результате установления равновесий электродных реакций, часто с участием анионов фонового

электролита, $E_{см.}$ приобретает характер обратимого равновесного потенциала [23]. Если в растворе присутствуют электроактивные компоненты двух необратимых Red-Ox пар, которые способны в свою очередь образовывать разнородную сопряженную пару, то электрод принимает устойчивое значение потенциала. Сделано предположение, что подобные явления возникают на Pt-электроде и при титровании ртути(II) трийодидом калия. При погружении электродов в раствор $Hg(II)$ возникает смешанный потенциал, обусловленный компонентами фона (ацетатный буферный

раствор). Изменение потенциала в начале титрования наглядно иллюстрирует изменение природы потенциалопределяющей пары при добавлении первой порции KI_3 .

На кривых потенциометрического титрования растворов ртути(II) потенциал платинового электрода после связывания ртути(I) уменьшается, а объем титранта в точке эквивалентности соответствует количественному осаждению ртути(II) в виде HgI_2 и $Hg(IO_3)_2$ согласно реакциям (4) и (5).

Таким образом, результаты, полученные при потенциометрическом титровании $Hg(II)$ трийодидом калия и подтверждаемые данными литературы [21], показали, что платиновый электрод можно использовать при протекании в растворе различных типов реакций. При этом, решающий вклад в величину возникающего потенциала вносят смешанные окислительно-восстановительные потенциалы.

Для определения массы ртути(II) при проведении анализа рационально использовать титр по определяемому веществу, для установления которого проводят потенциометрическое или биамперометрическое титрование стандартным раствором $Hg(NO_3)_2$:

$$m_{Hg^{2+}} = V_{KI_3}^{Hg^{2+}} \cdot T_{KI_3/Hg^{2+}} \quad (10)$$

Практически полученные при взаимодействии различных количеств ртути(II) с трийодидом калия ($C(I_2)=0.025 M$) при $[I^-]:[I_2]=5:1$ результаты совпадают с расчетными величинами (таблица).

Table

The results of biamprometric determination of mercury (II) by potassium triiodide in model solutions (n=3, P=0.95)

Таблица

Результаты биамперометрического определения ртути(II) трийодидом калия в модельных растворах ($C(I_2)=0.025 M$) (n=3, P=0.95)

N	Hg(II) added, mg	Volume of titrant, ml		Found Hg(II), mg, $\bar{x} \pm \delta$	S_r
		Theoretically estimated	Found		
1	0.96	0.26*	0.26*	0.95±0.08	0.045
2	1.93	0.26	0.26	1.98±0.16	0.045
3	4.81	0.64	0.65	4.92±0.16	0.018
4	6.74	0.90	0.91	6.85±0.14	0.011
5	9.60	1.28	1.30	9.80±0.20	0.015

* $C_{I_2} = 1.25 \cdot 10^{-2} M$

Выводы

Исследовано взаимодействие ртути(II) с трийодидом калия методами потенциометрического и биамперометрического титрования. Аномальный характер кривых биамперометрического титрования $Hg(II)$ KI_3 обусловлен амальгамированием катода и разнолигандным комплексообразованием. Указанные явления не влияют на объем в точке эквивалентности при количественном определении ртути(II). Показано, что при потенциометрическом титровании $Hg(II)$ трийодидом калия при протекании в растворе различных типов реакций в качестве рабочего можно с успехом использовать платиновый электрод. В этом случае решающий вклад в величину возникающего потенциала вносят смешанные окислительно-восстановительные потенциалы.

Библиографические ссылки

- [1] Объемный анализ. Т. 3 / И. М. Кольтгоф, Г. Белчер, В. А. Стенгер, Дж. Матсуяма. – М.: Госхимиздат, 1961. – 840 с.
- [2] Новохатько О. В. Использование растворов трийодида калия для экспрессного определения серебра(I) с визуальной фиксацией точки эквивалентности / О. В. Новохатько, Т. Н. Авдиенко, В. И. Супрунович // Заводская лаборатория. – 2003. – Т. 69, N 1. – С. 16-18.
- [3] Ярошенко М. В. Использование электротитриметрии для определения качества компонентов окружающей среды / М. В. Ярошенко, О. В. Новохатько, В. И. Супрунович // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – 2006. – N 2. – С. 124–125.
- [4] Коростелев П. П. Приготовление растворов для химико-аналитических работ / П. П. Коростелев. – М.: Изд-во Академии наук СССР, 1962. – 311 с.
- [5] Усатенко Ю. И. Синтез и исследование смешанных комплексных соединений двухвалентной ртути с тимоксином и галогенами / Ю. И. Усатенко, В. И. Супрунович, Ж. Б. Куликовская // Журн. неорг. химии. – 1971. – Т. 16, N 12. – С. 3200-3205.
- [6] Супрунович В. И. Смешанные тимоксинаты ртути / В. И. Супрунович, Ж. Б. Куликовская, Ю. И. Усатенко // Укр. хим. журнал. – 1972. – Т. 38, N 2. – С. 122-126.
- [7] Супрунович В. И. Изучение комплексообразования ртути(II) с 8-меркаптохинолином в солянокислых средах / В. И. Супрунович, С. Т. Ващенко // Журн. неорг. химии. – 1979. – Т. 24, N 9. – С. 2371-2377.
- [8] Усатенко Ю. И. Комплексы индия с 8-меркаптохинолином. Амперометрическое титрование индия / Ю. И. Усатенко, В. И. Супрунович // Изв. АН Латв. ССР. Сер. хим. – 1963, N 5. – С. 557-560.
- [9] Супрунович В. И. Изучение комплексообразования серебра с 8-меркаптохинолином. Состав и прочность смешанных тимоксинатов /

- В. И. Супрунович, Ю. И. Шевченко // Координационная химия. – 1979. – Т. 5, N 8. – С. 1167-1174.
- [10] Пилипенко А. Т. Разнолигандные и разнометалльные комплексы и их применение в аналитической химии / А. Т. Пилипенко, М. М. Тананайко. – М.: Химия, 1983. – 222 с.
- [11] Лукачина В. В. Лиганд-лигандное взаимодействие и устойчивость разнолигандных комплексов / В. В. Лукачина. – Киев: Наукова думка, 1988. – 184 с.
- [12] Супрунович В. И. Изучение взаимодействия ацетатных комплексов ртути и меди с 8-меркаптохинолином / В. И. Супрунович, Ю. И. Усатенко, Ж. Б. Куликовская // Журн. аналит. химии. – 1972. – Т. 27, N 8. – С. 1492-1497.
- [13] Усатенко Ю. И. Последовательное амперометрическое титрование ртути(II) и некоторых катионов группы сероводорода и сульфида аммония / Ю. И. Усатенко, В. И. Супрунович, Ж. Б. Куликовская // Журн. аналит. химии. – 1970. – Т. 25, N 10. – С. 1890-1893.
- [14] Руководство по препаративной неорганической химии / Под ред. Георга Брауера: Пер. с нем. Б. М. Беркенгейма. – М.: Издательство иностранной литературы, 1956. – 896 с.
- [15] Григорьев А. И. Инфракрасные спектры поглощения ацетатов элементов 1 и 2 групп периодической системы / А. И. Григорьев. // Журн. неорг. химии – 1963. – Т. 8, N 8. – С. 802-809.
- [16] Практическое руководство по неорганическому анализу / В. Ф. Гиллебранд, Г. Э. Лендель, Г. А. Брайт, Д. И. Гофман. – М.: Химия, 1966. – 1111 с.
- [17] Сонгина О. А. Некоторые особенности полярометрического титрования с платиновым вращающимся электродом / О. А. Сонгина // Известия АН КазССР, серия химическая. – 1960. – Т. 25. – С. 3179-3187.
- [18] Захаров В. А. Амперометрический метод определения ртути на вращающемся платиновом электроде / В. А. Захаров, О. А. Сонгина, Л. Н. Перзема // Заводская лаборатория. – 1960. – Т. 26, N 7. – С. 787-792.
- [19] Сонгина О. А. О зависимости хода кривых амперометрического титрования ртути йодида калия от потенциала индикаторного электрода / О. А. Сонгина, В. А. Захаров // Заводская лаборатория. – 1962. – Т. 28, N 8. – С. 908-910.
- [20] Сонгина О. А. Электрохимическое восстановление труднорастворимых соединений ртути / О. А. Сонгина, М. Р. Даушева // Электрохимия. – 1965. – Т. 5, N 12. – С. 1464-1468.
- [21] Супрунович В. И. Разнолигандные и разнометалльные координационные соединения S- и N-содержащих органических реагентов для селективного и комплексного анализа материалов: Автореф. дис...д.х.н. – Днепропетровск. – 1985. – 32 с.
- [22] Агасян П. К. Основы электрохимических методов анализа (потенциометрический метод) / П. К. Агасян, Е. Р. Николаева – М.: Изд-во МГУ, 1986. – 196 с.
- ekspressnogo opredeleniya serebra(I) s vizualnoy fiksatsiey tochki ekvivalentnosti. *Zavodskaya laboratoriya. Diagnostika materialov – Industrial laboratory. Diagnostics of materials.* 69(1), 16-18 (in Russian).
- [3] Yaroshenko, M. V., Novokhatko, O. V., Suprunovich, V. I. (2006). Ispolzovanie elektrotitrimetrii dlya opredeleniya kachestva komponentov okruzhayushchey sredy. *Visn. Kremench. Derzh. Politekh. Univ.* 2, 124-125 (in Russian).
- [4] Suprunovich, V. I., Yaroshenko, M. V. (2006). O vzaimodejstvii odnovalentnoj rtuti so smes'ju joda I jodistogo kalija. *Voprosy Khimii i Khimicheskoi Tekhnologii – Issues of Chemistry and Chemical Technology.* 5, 20-23 (in Russian).
- [5] Suprunovich, V. I., Yaroshenko, M. V. (2008). Jekspressnoe opredelenie zolota(III) v platinosoderzhashhih rastvorah s vizualnoj fiksaciej konechnoj tochki titrovaniya. *Voprosy Khimii i Khimicheskoi Tekhnologii – Issues of Chemistry and Chemical Technology.* 1, 24-26 (in Russian).
- [6] Manzyuk, M. V., Suprunovich, V. I., Avdienko, T. N., Zimina, S. V., Trachevskiy, V. V. (2016). The Outer-Sphere Formation of Complexes in the System of $H_2PtCl_6-Ce(SO_4)_2-H_2SO_4-KI$ in Conditions of Electrochemical Determination of Platinum(IV). *Res. J. Pharm., Biol. Chem. Sci.* 7(1), 1638-1644.
- [7] Manzyuk, M. V., Avdienko, T. N., Suprunovich, V. I. (2016). Opredelenie platiny jodidom kilija elektrokhimicheskimi metodami. *Privolzhsk. Nauch. Vestn.* (1), 28-31 (in Russian).
- [8] Korostelev, P.P. (1962). [Prigotovlenie rastvorov dlya khimiko-analiticheskikh rabot]. USSR, Moscow: Izd-vo Akademii nauk SSSR (in Russian).
- [9] Usatenko, Yu. I., Suprunovich, V. I., Kulikovskaya, Zh. B. (1971). Sintez i issledovanie smeshannykh kompleksnykh soedineniy dvukhvalentnoy rtuti s tioksinom i galogenami. *J. Inorg. Chem.*, 16 (12), 3200-3205 (in Russian).
- [10] Hernandez, G., Bernes, S., Portillo, O., Ruiz, A., Moreno, GR (2015). Crystal structures of three mercury(II) complexes $[HgCl_2L]$ where L is a bidentate chiral imine ligand. *Acta Crystallogr E Crystallogr Commun.* 71(12), 1462-1466. <https://doi.org/10.1107/S2056989015020368>
- [11] Kornev, V. I., Kardapol'tsev, A. A. (2008) Heteroligand mercury(II) complexes with aspartic, tartaric, and citric. *Russ. J. Coord. Chem.* 34, (12), 896-900.
- [12] Tulenbaeva, M. A. (2016) Raznoligandnye komplekсы zinka, rtuti s geksamtilentetraminom I dimetilsul'foksidom. *Nauka, tekhnika I obrazovanie* (10), 23-25 (in Russian).
- [13] Kornev, V. I., Kardapol'cev, A. A., Kropacheva, T. N., Batueva, E. V. (2012). Geteroligandnye komplekсы rtuti(II) s monoaminnymi karboksimetil'nymi kompleksonami I jablochnoi kislotoj v vodnom rastvore. *Vestn. Udmurt. Univ.* (2), 55-60 (in Russian).
- [14] Kuliev, K. A., Mamedova, R. A. (2016) Jekstraksiya rtuti(II) iz ditiolfenol'jatnyh rastvorov v hloroform v prisutstvii gidrofobnyh aminov. *Izv.vuzov. Prikl.khimiya I biotehn.* 6(4), 34-45. (in Russian). <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2016-6-4-34-45>
- [15] Lukachina, V. V. (1988). [Ligand-ligandnoe vzaimodeystvie i ustoychivost raznoligandnykh kompleksov]. Kiev: Naukova dumka (in Russian).
- [16] Suprunovich, V. I., Usatenko, Yu. I., Kulikovskaya, Zh. B. (1972). Izuchenie vzaimodeystviya atsetatnykh

References

- [1] Koltgof, I. M., Belcher, G., Stenger, V. A., Matsuyami, Dzh. (1961). [Ob'emnyiy analiz. V. 3]. USSR, Moscow: Goskhimizdat (in Russian).
- [2] Novokhatko, O. V., Avdienko, T. N., Suprunovich, V. I. (2003). Ispolzovanie rastvorov triyodida kaliya dlya

- kompleksov rtuti i medi s 8-merkaptokhinolinom. *J. Anal. Chem.*, 27(8), 1492-1497 (in Russian).
- [17] Grigorev, A. I. (1963). Infekrasnye spektry pogloshcheniya atsetatov elementov 1 i 2 grupp periodicheskoy sistemy. *J. Inorg. Chem.*, 8(8), 802-809 (in Russian).
- [18] Zakharov, V. A. Songina, O. A., Perzeman, L. N. (1960). Amperometricheskyy metod opredeleniya rtuti na vrashchayushchemsya platinovom. *Ind. Lab. (Diagn. Mater.)*, 26(7), 787-792 (in Russian).
- [19] Songina, O. A., Zakharov, V. A. (1962). O zavisimosti khoda krivykh amperometricheskogo titrovaniya rtuti yodida kaliya ot potentsiala indikatornogo elektroda. *Ind. Lab. (Diagn. Mater.)*, 28(8), 908-910 (in Russian).
- [20] Songina, O. A., Dausheva, M. R. (1965). Elektrokhimicheskoe vosstanovlenie trudnorastvorimykh soedineniy rtuti. *Electrochemistry*. 5(12), 1464-1468 (in Russian).
- [21] Suprunovich, V. I. (1985). Raznoligandnye i raznometallnye koordinatsionnye soedineniya S- i N-soderzhashchikh organicheskikh reagentov dlya selektivnogo i kompleksnogo analiza materialov: Avtoref. dis....d.kh.n. – Dnepropetrovsk (in Russian).
- [22] Agasyan, P. K., Nikolaeva, Ye. R. (1986). [*Osnovy elektrokhimicheskikh metodov analiza (potentsiometricheskyy metod)*]. USSR, Moscow: Izd-vo MGU (in Russian).