

УДК [546.92+546.98]:54.062

## МЕТОДИКА КОЛИЧЕСТВЕННОГО АНАЛИЗА БИЯДЕРНЫХ КОМПЛЕКСОВ ПЛАТИНЫ (II) И ПАЛЛАДИЯ (II)

Салищева О.В., Молдагулова Н.Е.

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», Кемерово, e-mail: [olimpkemtipp@mail.ru](mailto:olimpkemtipp@mail.ru)

Основываясь на результатах исследования реакций замещения лигандов в биядерных комплексах платины (II) и палладия (II), разработана методика количественного определения ацидолигандов (ионов  $\text{SCN}^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Br}^-$  и  $\text{I}^-$ ) при их совместном присутствии. Необходимым этапом в методике анализа биядерных комплексов соединений является разрушение химических связей центрального атома с лигандами. В ходе изучения реакционной способности синтезированных биядерных соединений платины и палладия было показано, что вследствие высокой прочности комплексов и их низкой растворимости полное вытеснение ионов  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Br}^-$  и  $\text{I}^-$  из внутренней сферы биядерных комплексов может быть достигнуто действием избытка аммиака или этилендиамина. Полное вытеснение тиоцианат-ионов из внутренней сферы биядерных комплексов происходит лишь в случае обработки комплексов избытком этилендиамина. Количественное определение ацидолигандов осуществляли методом потенциометрического титрования нитратом серебра раствора, полученного обработкой избытком этилендиамина или аммиака навески комплекса с последующей нейтрализацией избытка основания разбавленным раствором азотной кислоты. Потенциометрическое титрование проводили с использованием серебряселективного электрода марки «ХС-Аг-001», откалиброванного по стандартным растворам нитрата серебра, и хлорсеребряного электрода сравнения на иономере-кондуктометре марки АНИОН-4145. Статистическая обработка результатов анализа синтезированных биядерных комплексов показала, что погрешности в определении ионов  $\text{SCN}^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Br}^-$  и  $\text{I}^-$  с применением данной методики не превышают погрешностей в определении этих ионов в других комплексах традиционными методами. По величине потенциала, при котором наблюдается скачок, можно судить о качественном составе ацидолигандов биядерного комплексного соединения.

**Ключевые слова:** биядерные комплексы, ацидолиганды, потенциометрическое титрование, анализ

## METHOD OF QUANTITATIVE ANALYSIS OF BINUCLEAR COMPLEXES OF PLATINUM (II) AND PALLADIUM (II)

Salishcheva O.V., Moldagulova N.E.

Kemerovo State University, Kemerovo, e-mail: [olimpkemtipp@mail.ru](mailto:olimpkemtipp@mail.ru)

Based on the results of a research of replacement reactions of ligands in the binuclear complexes of platinum (II) and palladium (II), the method of the quantitative definition of acidoligands (ions of  $\text{SCN}^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Br}^-$  and  $\text{I}^-$ ) was developed at their collateral presence. Necessary stage in an analysis technique of the binuclear complexes is destruction of chemical bond of the central atom with ligands. During studying of reactivity of synthesized binuclear compounds of platinum and palladium it was shown that due to the high stability of complexes and their low solubility, the complete replacement of ions of  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Br}^-$  and  $\text{I}^-$  from the internal sphere the binuclear complexes can be reached by action of excess of ammonia or ethylenediamine. The complete replacement of thiocyanate- ions from the internal sphere of binuclear complexes comes only in case of processing of complexes with an excess of ethylenediamine. The quantitative definition of acidoligands was carried out by method of potentiometric titration by silver nitrate of the solution received by processing by excess of ethylenediamine or ammonia of a complex with the subsequent neutralization of excess of the basis a dilute solution of hydrogen nitrate. Potentiometric titration was carried out with use of the silverselective electrode of the «ХС-Аг-001» brand, calibrated on reference solutions of silver nitrate, and a chlorsilver electrode of comparison on an ionomer-conductometer of the ANION-4145 brand. Statistical processing of results of the analysis of the synthesized binuclear complexes showed that errors in definition of ions of  $\text{SCN}^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Br}^-$  and  $\text{I}^-$  with application of this method do not exceed errors in determination of these ions in other complexes by traditional methods. By the magnitude of potential at which the jump is observed it is possible to judge also qualitative composition of acidoligands of binuclear complex compound.

**Keywords:** binuclear complexes, acidoligands, potentiometric titration, analysis

Ранее [1–3] был получен ряд биядерных комплексов платины и палладия с тиоцианатными, бромидными и иодидными мостиками. Учитывая достаточно высокую прочность синтезированных комплексов и их низкую растворимость, встал вопрос о поиске метода, позволяющего определять содержание ацидолигандов.

Авторами работы [4] предложен метод ионной хроматографии для одновременно-го определения содержания хлора, фтора, йода и брома. Однако он применим толь-

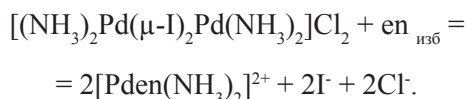
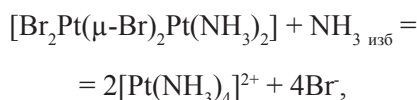
ко для анализа органических соединений. В работе [5] представлена цветометрическая методика определения ионов хлора в водных растворах, основанная на окислении хлорид-ионов с последующей экстракцией хлора. Известно о применении метода ионометрии для определения бромидов, хлоридов и нитратов в лекарственном растительном сырье [6]. Для определения тиоцианат-ионов предложен метод капиллярного электрофореза [7]. Однако описанные методы предполагают присутствие в рас-

творе либо растворимого соединения, либо свободных галогенид- и тиоцианат-ионов.

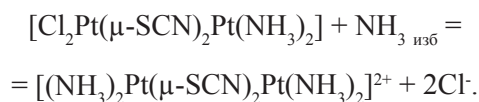
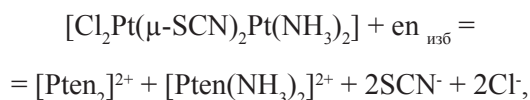
Основываясь на результатах исследования реакций замещения лигандов, нами были разработаны методы анализа биядерных комплексов платины (II) и палладия (II), позволяющие определять содержание ацидолигандов с достаточной точностью и при их совместном присутствии. Разработанная методика не требует использования дорогостоящего оборудования и реактивов, доступна и проста в исполнении, что особенно актуально при проведении большой серии исследований с целью мониторинга процесса комплексообразования.

*Определение содержания галогенид- и тиоцианат-ионов*

Необходимым этапом в методике анализа комплексных соединений является разрушение связей центрального атома с лигандами. В ходе изучения реакционной способности синтезированных биядерных соединений платины и палладия было показано, что полное вытеснение ацидолигандов ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Br}^-$  и  $\text{I}^-$ ) из внутренней сферы может быть достигнуто действием избытка аммиака или этилендиамина (en), например:



Полное вытеснение тиоцианат-ионов из внутренней сферы комплексов происходит лишь в случае обработки комплексов избытком этилендиамина:



Это позволило разработать методику количественного определения содержания ионов  $\text{SCN}^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Br}^-$  и  $\text{I}^-$  в комплексных соединениях.

С этой целью навеску комплекса обрабатывали избытком концентрированного раствора этилендиамина (или аммиака) при нагревании на водяной бане. После полного растворения комплекса раствор охлаждали, нейтрализовали избыток основания разбавленной азотной кислотой.

Исследуемый раствор титровали потенциометрически раствором нитрата серебра с использованием ионселективного электрода, обратимого относительно ионов серебра (I), и хлорсеребряного электрода сравнения [8–10].

*Экспериментальная часть*

*Определение содержания галогенид- и тиоцианат-ионов*

Для потенциометрического титрования исследуемых соединений навеску комплекса (0,03–0,06 г) обрабатывали 5 см<sup>3</sup> 25%-ного раствора аммиака (или 3 см<sup>3</sup> 70%-ного раствора этилендиамина) при нагревании на водяной бане в течение 30–60 мин до полного растворения комплекса. Раствор охлаждали, нейтрализовали избыток основания разбавленной азотной кислотой (1 : 3) до pH = 3 по индикаторной бумаге, доводили объем раствора до 50 см<sup>3</sup> 0,3 моль/дм<sup>3</sup> раствором  $\text{NaNO}_3$ . Аминные комплексы палладия разлагаются в кислой среде, поэтому нейтрализацию растворов комплексов палладия азотной кислотой после обработки избытком этилендиамина проводили только до pH = 7.

В исследуемый раствор погружали ионселективный электрод, обратимый относительно ионов серебра (I), марки «Эком-Ag» (или марки «XC-Ag-001»), откалиброванный по стандартным растворам нитрата серебра, и хлорсеребряный электрод сравнения. Хлорсеребряный электрод соединяли с исследуемым раствором через солевой мостик, заполненный 0,3 моль/дм<sup>3</sup> раствором  $\text{NaNO}_3$ .

Исследуемый раствор титровали потенциометрически раствором нитрата серебра с = 0,025 моль/дм<sup>3</sup>. Измерения концентрации ионов  $\text{Ag}^+$  производили на иономере-кондуктометре марки АНИОН-410.

Предварительно проводили титрование смеси 0,0120 г  $\text{KCl}$  и 0,0156 г  $\text{KCN}$  (взятых в эквимольных количествах), растворенных в 50 см<sup>3</sup> 0,3 М раствора  $\text{NaNO}_3$ , раствором 0,025 М  $\text{AgNO}_3$ . На кривой титрования наблюдаются два четких скачка при потенциалах 160 и 330 мВ (Ag-селективный электрод марки «Эком-Ag»). Расход титранта до первого скачка (на осаждение  $\text{SCN}^-$ -группы)  $V_1 = 6,4$  см<sup>3</sup>, расход титранта до второго скачка (на осаждение хлорид-ионов)  $V_2 = 6,4$  см<sup>3</sup>. На рис. 1 приводится кривая титрования комплекса (0,0454 г)  $[(\text{NH}_3)_2\text{Pt}(\text{SCN})_2\text{Pt}(\text{NH}_3)_2]\text{Cl}_2$ . По кривой титрования может быть найдено содержание тиоцианатных групп и хлора при их совместном присутствии.

Таблица 1  
Результаты титрования биядерных комплексов с тиоцианатными мостиками

Исследуемое соединение	Навеска, г	Расход титранта*, см <sup>3</sup>		Содержание SCN, %	Содержание Cl, %				
		до I скачка	до II скачка		найдено	абсолютная погрешность			
[(NH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> Pt(SCN) <sub>2</sub> Pt(NH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ]Cl <sub>2</sub>	0,0530	6,7	6,8	18,36	найдено	11,39	абсолютная погрешность	0,39	
	0,0485	6,1	6,1	18,26		11,16		0,16	
	0,0454	5,5	5,5	17,59		10,75		0,25	
	0,0500	6,3	6,2	18,30		11,01		0,01	
	0,0650	8,2	8,3	18,32		11,33		0,33	
	0,0430	5,3	5,2	17,90		10,73		0,27	
	0,0350	4,3	4,4	17,84		11,16		0,16	
					ДИ** = 18,08 ± 0,42			ДИ = 11,08 ± 0,37	
					теоретическое содержание 18,00		теоретическое содержание 11,00		
	[Cl <sub>2</sub> Pt(SCN) <sub>2</sub> Pt(NH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ]	0,0379	5,2	5,1	19,41		11,64		0,03
0,0518		6,7	6,7	18,78		11,48		0,13	
0,0449		6,0	6,1	19,40		12,06		0,45	
0,0550		7,1	7,0	18,74		11,30		0,31	
0,0435		5,8	5,9	19,36		12,04		0,43	
0,0505		6,6	6,6	18,95		11,60		0,01	
0,0410		5,5	5,5	19,48		11,91		0,30	
					ДИ** = 19,16 ± 0,45			ДИ = 11,72 ± 0,41	
					теоретическое содержание 19,00		теоретическое содержание 11,61		
[Pt(NH <sub>3</sub> ) <sub>4</sub> ][Cl <sub>2</sub> Pt(SCN) <sub>2</sub> Pt(SCN) <sub>2</sub> ]		0,0501	8,4	4,2	24,34		7,44		0,02
	0,0480	8,1	4,0	24,50		7,40		0,02	
	0,0500	8,2	4,1	23,81		7,28		0,14	
	0,0435	7,4	3,8	24,70		7,75		0,33	
	0,0473	7,8	3,8	23,94		7,13		0,29	
	0,0538	9,1	4,5	24,56		7,42		0,00	
	0,0399	9,6	3,4	24,02		7,56		0,14	
					ДИ = 24,27 ± 0,48			ДИ = 7,43 ± 0,28	
					теоретическое содержание 24,29		теоретическое содержание 7,42		

Примечание. \*Раствор AgNO<sub>3</sub> с = 0,025 моль/дм<sup>3</sup>. \*\*Доверительный интервал определяемой величины ДИ =  $\bar{x} \pm c$ .

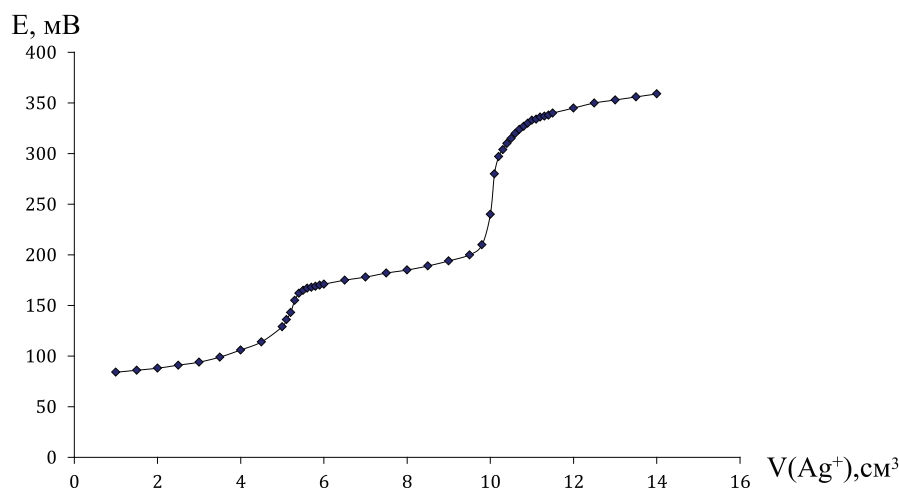


Рис. 1. Кривая потенциметрического титрования биядерного комплекса  $[(NH_3)_2Pt(SCN)_2Pt(NH_3)_2]Cl_2$

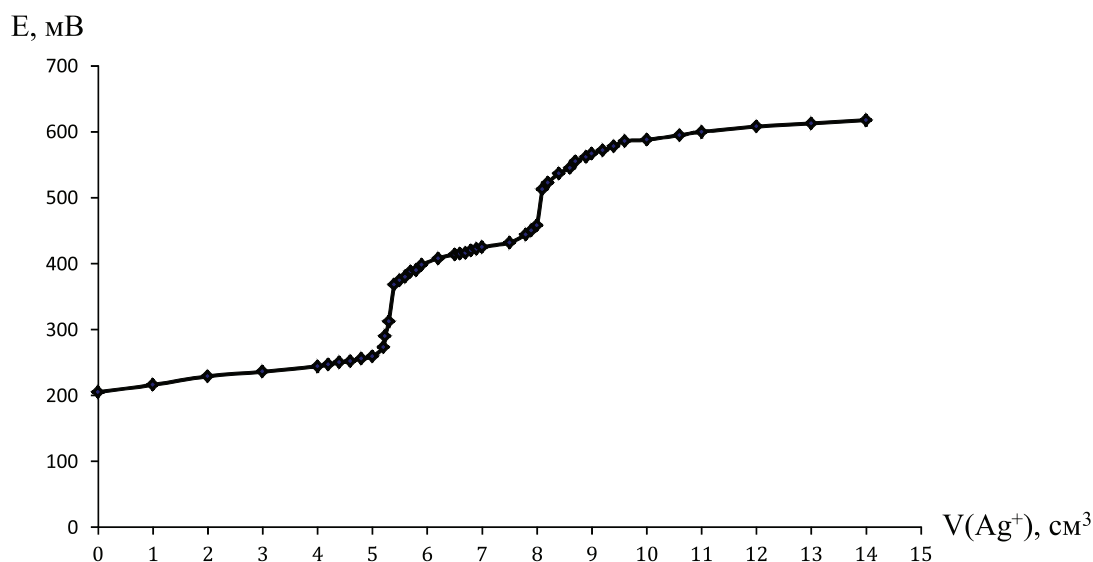


Рис. 2. Кривая потенциметрического титрования биядерного комплекса  $[Cl(NH_3)_2PtBrPt_mBr](NO_3)$

В табл. 1 приведены результаты титрования некоторых биядерных комплексов с тиоцианатными мостиками.

Определение содержания хлорид-, бромид- и иодид-ионов потенциметрическим титрованием проводили с использованием серебряселективного электрода марки «ХС-Аг-001», откалиброванного по стандартным растворам нитрата серебра, и хлорсеребряного электрода сравнения на иономере-кондуктометре марки АНИОН-4145.

Предварительно проводили *титрование смеси KI, KBr, KCl*, взятых в эквимольных количествах, раствором нитрата серебра  $c = 0,025$  моль/дм<sup>3</sup>. Навески 0,010 г

KCl, 0,016 г KBr и 0,022 г KI растворяли в 50 см<sup>3</sup> 0,3 моль/дм<sup>3</sup> раствора NaNO<sub>3</sub>. На кривой титрования наблюдаются три четких скачка при потенциалах 60, 350 и 450 мВ. Расход титранта до первого скачка (осаждение I<sup>-</sup>)  $V_1 = 5,4$  см<sup>3</sup>, расход титранта до второго скачка (осаждение Br<sup>-</sup>)  $V_2 = 5,4$  см<sup>3</sup> и до третьего скачка (осаждение Cl<sup>-</sup>)  $V_3 = 5,4$  см<sup>3</sup>.

На рис. 2 приводится кривая титрования биядерного комплекса ( $m = 0,0500$  г)  $[Cl(NH_3)_2PtBrPt_mBr](NO_3)$  (где  $m$  – метиламин). Расход титранта до первого скачка (осаждение Br<sup>-</sup>)  $V_1 = 5,4$  см<sup>3</sup>, расход титранта до второго скачка (осаждение Cl<sup>-</sup>)  $V_2 = 2,7$  см<sup>3</sup>.

Таблица 2

Результаты титрования биядерных комплексов с галогенидными мостиками

Соединение	Навеска, г	Расход титранта*, см <sup>3</sup>		Содержание I, %		Содержание Br, %		Содержание Cl, %	
		до I скачка	до II скачка	найдено	абсолютная погрешность	найдено	абсолютная погрешность	найдено	абсолютная погрешность
[Br <sub>2</sub> Pt(μ-I <sub>2</sub> )Pt(en)]	0,0350	3,2	3,2	29,03	0,37	18,29	0,22	–	–
	0,0460	4,3	4,3	29,68	0,28	18,70	0,19	–	–
	0,0484	4,5	4,5	29,55	0,15	18,61	0,10	–	–
	0,0454	4,2	4,3	29,41	0,01	18,96	0,45	–	–
	0,0515	4,8	4,8	29,59	0,19	18,64	0,13	–	–
	0,0443	4,1	4,2	29,39	0,02	18,96	0,45	–	–
	0,0512	4,8	4,7	29,77	0,37	18,36	0,15	–	–
				ДИ** = 29,49 ± 0,23 теоретическое содержание 29,40		ДИ = 18,65 ± 0,24 теоретическое содержание 18,51		–	
[(NH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> Pt(μ-I <sub>2</sub> )Pt(NH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ]Cl <sub>2</sub>	0,0503	5,1	5,2	32,19	0,01	–	–	9,18	0,01
	0,0435	4,4	4,5	32,12	0,08	–	–	9,18	0,01
	0,0520	5,2	5,3	31,75	0,44	–	–	9,05	0,12
	0,0445	4,5	4,6	32,11	0,08	–	–	9,17	0,01
	0,0505	5,1	5,3	32,10	0,09	–	–	9,32	0,15
	0,0489	4,9	5,0	31,82	0,38	–	–	9,08	0,10
	0,0438	4,5	4,6	32,66	0,47	–	–	9,33	0,16
				ДИ = 32,11 ± 0,27 теоретическое содержание 32,19		–		ДИ = 9,19 ± 0,10 теоретическое содержание 9,17	
[Cl(NH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> Pt(μ-Br)Pt(m) <sub>2</sub> Br]NO <sub>3</sub>	0,0500	5,4	2,7	–	–	21,60	0,08	4,79	0,02
	0,0480	5,2	2,6	–	–	21,67	0,15	4,81	0,04
	0,0514	5,6	2,7	–	–	21,79	0,27	4,66	0,12
	0,0530	5,6	2,8	–	–	21,13	0,39	4,69	0,08
	0,0466	5,1	2,6	–	–	21,89	0,37	4,95	0,18
	0,0600	6,6	3,3	–	–	22,00	0,48	4,88	0,11
	0,0550	6,0	3,1	–	–	21,82	0,30	5,01	0,23
				–		ДИ = 21,70 ± 0,26 теоретическое содержание 21,52		ДИ = 4,83 ± 0,12 теоретическое содержание 4,77	

Примечание. \*Раствор AgNO<sub>3</sub>, c = 0,025 моль/дм<sup>3</sup>. \*\*Доверительный интервал определяемой величины. ДИ =  $\bar{x} \pm c$ .

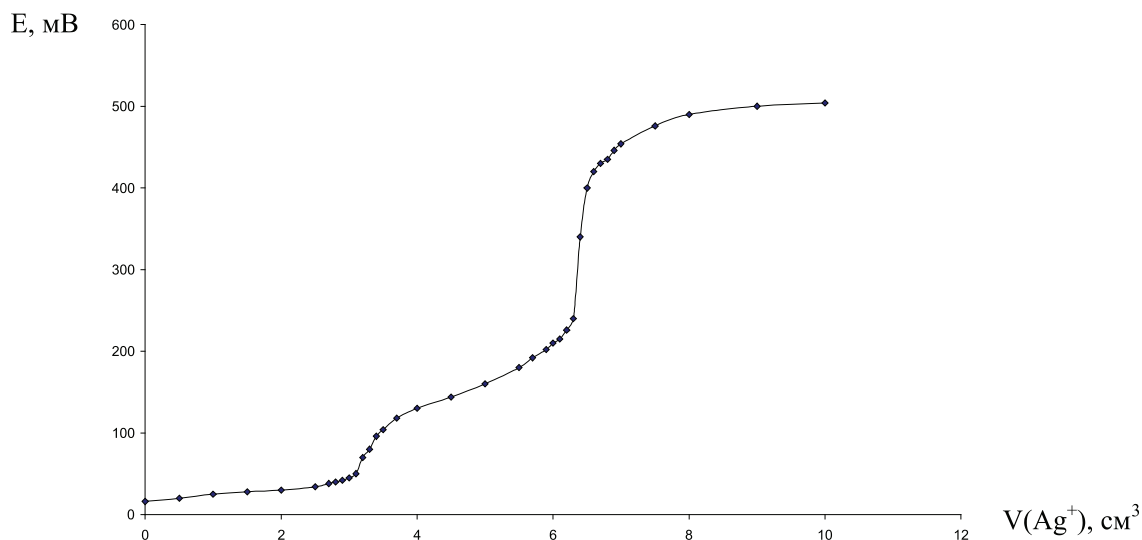


Рис. 3. Кривая потенциометрического титрования биядерного комплекса  $[Br_2PtI_2Pten]$

На рис. 3 приводится кривая титрования биядерного комплекса  $[Br_2PtI_2Pten]$  ( $m = 0,0350$  г). Расход титранта до первого скачка (осаждение I<sup>-</sup>)  $V_1 = 3,2$  см<sup>3</sup>, расход титранта до второго скачка (осаждение Br<sup>-</sup>)  $V_2 = 3,2$  см<sup>3</sup>.

В табл. 2 приведены результаты титрования некоторых биядерных комплексов с галогенидными мостиками. Статистическая обработка результатов анализа показала, что погрешности в определении галогенид- и тиоцианат-ионов с применением данной методики не превышают погрешностей в определении этих ионов в других комплексах традиционными методами. Исследование мономерных комплексов родия и иридия показало возможность применения данной методики для количественного определения галогенид- и тиоцианат-ионов в комплексных соединениях других металлов.

### Заключение

Таким образом, метод количественного определения ацидолигандов, основанный на потенциометрическом титровании нитратом серебра раствора, полученного обработкой избытком этилендиамина или аммиака навески комплекса, позволяет найти содержание тиоцианатных групп, хлорид-, бромид- и иодид-ионов при их совместном присутствии. Кроме того, по величине потенциала можно судить о качественном составе ацидолигандов комплексного соединения. Количественное определение

ацидолигандов комплексных соединений иридия и родия показало возможность применения данной методики для изучения других комплексных соединений, как мономерных, так и димерных.

### Список литературы

1. Гельфман М.И. Биядерные тиоцианатные комплексы платины (II). Неэлектролиты. Анионные комплексы / М.И. Гельфман, О.В. Салищева // Журнал неорганической химии. – 2000. – Т. 45, № 6. – С. 950.
2. Салищева О.В. Катионные биядерные комплексы платины (II) с бромидными мостиками / О.В. Салищева, Н.Е. Молдагулова, М.И. Гельфман // Журнал неорганической химии. – 2004. – Т. 49, № 1. – С. 54.
3. Гельфман М.И. Биядерные иодидные комплексы платины / М.И. Гельфман, О.В. Салищева // Журнал неорганической химии. – 2002. – Т. 47, № 11. – С. 1848.
4. Ревельский И.А., Ревельский А.И., Капинус Е.Н. Способ одновременного определения содержания фтора, хлора, брома, йода, серы и фосфора в органических соединениях // Патент на изобретение RUS 2395806 17.10.2008.
5. Горбунова М.О. Цветометрическое определение хлоридов в воде с использованием газовой экстракции и метилового оранжевого / М.О. Горбунова, Е.М. Баян, А.В. Шевченко, М.С. Кулягинова // Аналитика и контроль. – 2017. – Т. 21, № 3. – С. 274–280.
6. Никулин А.В. Определение хлоридов, бромидов, нитратов методом ионометрии в лекарственном растительном сырье / А.В. Никулин, Г.С. Терещенко, О.Г. Потанина // Вопросы обеспечения качества лекарственных средств. – 2016. – № 1(11). – С. 37–41.
7. Аглюкова Э.Р. Способ определения тиоцианат-ионов в пробах природных и сточных вод методом капиллярного электрофореза / Э.Р. Аглюкова, Е.Н. Аликина // Вода: химия и экология. – 2015. – № 4. – С. 72–75.
8. Кусакина Н.А. Аналитическая химия и физико-химические методы анализа / Н.А. Кусакина, Т.И. Бокова, Г.П. Юсупова. – Новосибирск: НГАУ, 2010. – 118 с.
9. Золотов Ю.А. Введение в аналитическую химию. – М.: Лаборатория знаний, 2016. – 266 с.



10. Нечипоренко А.П. Физико-химические (инструментальные) методы анализа. Электрохимические методы. Потенциометрия и кондуктометрия. – СПб.: НИУ ИТМО, 2013. – 34 с.

### References

1. Gel'fman M.I., Salishcheva O.V. Binuclear Platinum (II) Thiocyanate Complexes: Nonelectrolytes and Anionic Complexes [Biiadernye tiotsianatnye komplekсы platiny(II). Neelektrolity. Anionnye komplekсы]. Zhurnal neorganicheskoi khimii – Journal of Inorganic Chemistry, 2000, no. 6, pp. 950.

2. Salishcheva O.V., Moldagulova N.E., Gel'fman M.I. Cationic Binuclear Platinum (II) Complexes with Bromide Bridges [Kationnye biiadernye komplekсы platiny(II) s bromidnymi mostikami]. Zhurnal neorganicheskoi khimii – Journal of Inorganic Chemistry, 2004, no. 1, pp. 54.

3. Gel'fman M.I., Salishcheva O.V. Binuclear Platinum Iodo Complexes [Biiadernye iodidnye komplekсы platiny]. Zhurnal neorganicheskoi khimii – Journal of Inorganic Chemistry, 2002, no. 11, pp. 1848.

4. Revel'skij I.A., Revel'skij A.I., Kapinus E.N. Sposob odnovernennogo opredeleniya sodержaniya flora, hloro, bro-mo, joda, sery i fosfora v organicheskikh soedineniyah // Patent na izobretenie RUS 2395806 17.10.2008.

5. Gorbunova M.O., Baian E.M., Shevchenko A.V. Digital colorimetric determination of chlorides in water using gas extraction and methyl orange [Tsvetometricheskoe opredelenie

khloridov v vode s ispol'zovaniem gazovoi ekstraktsii i metilovogo oranzhevogo]. Analitika i kontrol' – Analytics and control, 2017, no. 3, pp. 274–280.

6. Nikulin A.V., Tereshchenko G.S., Potanina O.G. Determination of chloride, bromide and nitrate by ionometry in the medicinal plant raw materials [Opredelenie khloridov, bromidov, nitratov metodom ionometrii v lekarstvennom rastitel'nom syr'e]. Voprosy obespecheniya kachestva lekarstvennykh sredstv – Questions of quality assurance of medicines, 2016, no. 1, pp. 37–41.

7. Agliukova E.R., Alikina E.N. The method of determining of thiocyanate-ions in the samples of natural and waste waters using capillary electrophoresis [Sposob opredeleniya tiotsianat-ionov v probakh prirodnykh i stochnykh vod metodom kapilliarnogo elektroforeza]. Voda: khimiia i ekologiia – Water: chemistry and ecology, 2015, no. 4, pp. 72–75.

8. Kusakina N.A., Bokova T.I., Iusupova G.P. Analiticheskaiia khimiia i fiziko-khimicheskie metody analiza [Analytical Chemistry and Physical-Chemical Methods of Analysis]. Novosibirsk, NGAU, 2010, 118.

9. Zolotov Iu.A. Vvedenie v analiticheskuiu khimiiu [Introduction to Analytical Chemistry]. Moscow, Laboratoriia znani, 2016, 266.

10. Nechiporenko A.P. Fiziko-khimicheskie (instrumental'nye) metody analiza. Elektrokhimicheskie metody. Potentsiometriia i konduktometriia [Physico-chemical (instrumental) methods of analysis. Electrochemical methods. Potentiometry and conductometry]. St. Petersburg, NIU ITMO, 2013, 34.