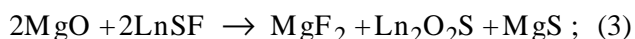
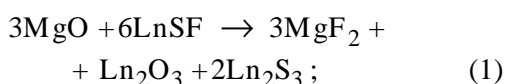


УДК 543.62:543.618:564.650:546.46

**Н.А.Чивирева, И.В.Стойнова, В.Ф.Зинченко, И.Р.Магунов, В.П.Антонович, А.О.Стойнов**  
**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХИМИЧЕСКИХ ФОРМ КОМПОНЕНТОВ В ПРОДУКТАХ**  
**ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СУЛЬФОФТОРИДОВ ЛАНТАНИДОВ С ОКСИДОМ МАГНИЯ**

Предложена схема вещественного анализа продуктов взаимодействия оксида магния с сульфотторидами лантана, самария и тулия, которая позволяет устанавливать наличие и оценивать содержания различных химических форм серы, рассчитывать массовые доли лантанид- и магнийсодержащих оксосоединений. Полученные данные химического анализа подтверждают эффективность использования сульфотторида тулия в качестве легирующей добавки к материалу на основе фторида магния для устранения в нем кислородсодержащих примесей.

*ВВЕДЕНИЕ.* Оксид магния считается основной кислородсодержащей примесью в оптических материалах на основе  $MgF_2$ , ухудшающей функциональные свойства последнего, особенно механическую прочность. Для устранения мешающего влияния  $MgO$  предложено использовать в качестве кислородотнимающих (и одновременно дофторирующих) реагентов сульфотториды лантанидов ( $LnSF$ ) [1], которые являются бифункциональными соединениями, способными также досульфидировать материалы на основе сульфидов металлов (в частности  $ZnS$ ) [2]. При взаимодействии  $MgO$  с  $LnSF$  термодинамически возможно протекание нескольких реакций:



С помощью рентгенофазового анализа (РФА) было установлено, что в продуктах взаимодействия  $MgO$  с сульфотторидами самария и тулия ( $SmSF$ ,  $TmSF$ ) преобладают фазы  $Ln_2O_2S$  и  $MgF_2$  с деформированной кристаллической решеткой, а в продукте взаимодействия  $MgO$  с сульфотторидом лантана ( $LaSF$ ) присутствуют фазы  $LaSF$ ,  $MgO$  и  $MgF_2$  (деформированный). Во всех образцах методом РФА фиксировалось небольшое количество неизвестных X-фаз, но

не  $MgS$  [1]. Таким образом, можно было предположить, что устранение кислородсодержащей примеси  $MgO$  в материале на основе  $MgF_2$  протекает преимущественно по схеме (3) в случае использования сульфотторидов самария и тулия.

Направление протекания реакций и полноту взаимодействия между оксидом магния и сульфотторидами лантанидов необходимо проверять химическими методами.

Цель настоящей работы — установление безэталонными химическими методами и расчет содержания форм компонентов в системах  $MgO$ — $TmSF$ ,  $MgO$ — $SmSF$  и  $MgO$ — $LaSF$ , подтверждение влияния природы сульфотторида лантанида на полноту протекания целевой реакции.

*ЭКСПЕРИМЕНТ И ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ.* Сульфотториды лантанидов и продукты взаимодействия  $MgO$ — $LnSF$  получали в отделе химии функциональных неорганических материалов ФХИ НАН Украины. Использовали оксид магния квалификации ос.ч. (ТУ 6-09-1546-64), предварительно высушенный при  $180^\circ C$  в вакууме.

Для анализа применяли реактивы квалификации не ниже ч.д.а. Растворы титрантов готовили и стандартизировали по известным прописям [3]. Определение содержания металлов проводили последовательным комплексонометрическим титрованием после жесткого вскрытия азотной кислотой по методике [4]. Концентрацию фторид-ионов устанавливали прямой потенциометрией с ионселективным электродом ИСЭ-Ф-01 в присутствии буферного раствора

(БРУИС) с высокими содержаниями ЭДТА, хлорид- и ацетат-ионов. В качестве электрода сравнения использовали хлорсеребряный электрод ЭДЛ-1М3. Потенциалы измеряли на промышленном рН-метре-милливольтметре рН-121.

Для определения серусодержащих компонентов использовали разработанный ранее подход (так называемое "сульфидное тестирование"), основанный на различном взаимодействии с раствором иода сульфидсодержащих соединений различной растворимости [5, 6]. Для предварительного заключения о возможности применения этого подхода в вещественном анализе продуктов взаимодействия MgO с LnSF использовали полученные нами ранее [5–7] и литературные [8, 9] данные о растворимости Ln<sub>2</sub>O<sub>2</sub>S, Ln<sub>2</sub>S<sub>3</sub>, LnSF, MgF<sub>2</sub> и MgS. Так, в частности, установлено [5–7], что при комнатной температуре с раствором иода взаимодействуют Ln<sub>2</sub>S<sub>3</sub> и LnSF, но не прошедший высокотемпературную обработку Ln<sub>2</sub>O<sub>2</sub>S, а последний вскрывается концентрированными растворами азотной кислоты при нагревании. По данным работ [8, 9] рПП для MgS и MgF<sub>2</sub> составляют –2.4(–5.06) и 7.04 (8.26) соответственно. Очевидно, что сульфид-ионы, входящие в MgS, должны взаимодействовать с иодом в мягких условиях, так как  $rPP_{MgS} \ll rPP_{Ln_2S_3} \cdot rPP_{MgF_2}$  меньше, чем соответствующие величины для LnF<sub>3</sub> ( $rPP_{LnF_3} -17.6(-20.5)$ ) [10], что позволило предположить возможность ионометрического определения F<sup>-</sup>-ионов в MgF<sub>2</sub> после его вскрытия солями железа (III) в кислой среде. Данный подход ранее был успешно использован для анализа образцов LnF<sub>3</sub> [11]. Это предположение проверено экспериментально на образце фторида магния, прошедшего высокотемпературную обработку. Установлено, что навеска 0.025 г MgF<sub>2</sub> при вскрытии смесью 0.1 М FeCl<sub>3</sub> и HNO<sub>3</sub> (1:3) в течение 4.5 ч. полностью не растворяется. В раствор переходит лишь ~15 % MgF<sub>2</sub>, но продукты взаимодействия MgO с LnSF в такой смеси (навески 0.025—0.050 г) практически полностью растворяются в выбранных условиях. Следовательно, данный подход может быть использован для определения фторид-ионов в исследуемых объектах.

На основании полученных данных предложены схемы определения форм компонентов в продуктах взаимодействия MgO с сульфидфторидами лантанидов:

1. "Сульфидный тест" в "мягких" условиях — иодометрическое определение S<sup>2-</sup>, входящих в LnSF (Ln<sub>2</sub>S<sub>3</sub>) и MgS, при комнатной температуре в среде разбавленной H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Позволяет судить о полноте взаимодействия легирующих (LnSF) и примесных (MgO) компонентов.

2. "Сульфидный (полисульфидный) тест" в "жестких" условиях — иодометрическое определение суммы S<sup>2-</sup> в LnSF (Ln<sub>2</sub>S<sub>3</sub>), MgS и S<sub>n</sub><sup>2-</sup> (могут присутствовать в непрореагировавших LnSF [5]) в среде 6 М HCl при нагревании. Позволяет судить о наличии в исследуемых материалах полисульфидов лантанидов.

3. "Оксосульфидный тест" — гравиметрическое определение всех форм серы, включая Ln<sub>x</sub>O<sub>y</sub>S<sub>z</sub> (после их перевода в сульфаты смесью Br<sub>2</sub> и HNO<sub>3</sub>), в виде BaSO<sub>4</sub>. Позволяет рассчитывать содержание окосульфидной серы в образцах.

4. Комплексонометрическое определение общих содержания магния и лантанидов.

5. Ионометрическое определение фторид-ионов.

Расчетные содержания компонентов в возможных продуктах взаимодействия LnSF и MgO по схемам 1–4 представлены в табл. 1.

Результаты химического анализа образцов приведены в табл. 2. Правильность определения компонентов контролировали методом варьирования навесок и методом добавок (в случае определения F<sup>-</sup>-ионов). Для системы MgO—LaSF сульфидный тест в "жестких" условиях не проводили, так как известно, что для сульфидфторидов РЗЭ, не склонных к изменению степени окисления, образование полисульфидов не характерно [12].

Полученные данные указывают на отклонение найденных содержаний компонентов от расчетных. Содержания металлов, установленные экспериментально, как и следовало ожидать, близки к расчетным для реакции (3), однако для магния во всех образцах они занижены, а для лантанидов (Sm, Tm) завышены. Мы предположили, что содержание магния в исходном MgO может быть ниже стехиометрического из-за наличия влаги и карбонатов. В образце оксида магния ч.д.а. нами комплексонометрически установлено содержание магния, равное 48.67 % (80.70 % от теоретического), а в образце, прокаленном 5 ч при 800 °С, — 56.17 % (93.14 % от

Т а б л и ц а 1

Расчетные содержания компонентов в возможных продуктах взаимодействия LnSF и MgO по схемам 1–4

Система	Схе- ма	Содержание компонентов, % мас.											
		MgF <sub>2</sub>	Ln <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ln <sub>2</sub> O <sub>2</sub> S	Ln <sub>2</sub> OS <sub>2</sub>	Ln <sub>2</sub> S <sub>3</sub>	LnF <sub>3</sub>	MgS	Mg	Ln	S	O	F
MgO+LaSF	1	14.83	25.84	—	—	59.33	—	—	5.78	66.11	15.26	3.81	9.04
	2	—	47.16	—	—	—	28.36	24.48	10.56	60.32	13.93	6.95	8.25
	3	13.53	—	74.23	—	—	—	12.24	10.56	60.32	13.93	6.95	8.25
	4	14.83	—	—	85.17	—	—	—	5.87	66.11	15.26	3.81	9.04
MgO+SmSF	1	14.06	26.23	—	—	59.71	—	—	5.49	67.86	14.47	3.61	8.57
	2	—	48.08	—	—	—	28.59	23.32	10.06	62.20	13.27	6.62	7.86
	3	12.89	—	75.45	—	—	—	11.66	10.06	62.20	13.27	6.62	7.86
	4	14.06	—	—	85.96	—	—	—	5.49	67.86	14.47	3.61	8.57
MgO+TmSF	1	12.97	26.78	—	—	60.25	—	—	5.06	70.34	13.35	3.33	7.91
	2	—	49.41	—	—	—	28.93	21.66	9.34	64.90	12.32	6.15	7.30
	3	11.97	—	77.20	—	—	—	10.83	9.34	64.90	12.32	6.15	7.30
	4	12.97	—	—	87.03	—	—	—	5.06	70.34	13.35	3.33	7.91

Т а б л и ц а 2

Результаты химического анализа продуктов взаимодействия MgO с LnSF ( $m=0.025-0.050$  г,  $n=3-5$ ,  $P=0.95$ )

Образец	Найденное содержание компонентов, % ( $S_p$ )					
	S <sup>2-</sup> <sub>мягк</sub>	S <sup>2-</sup> <sub>жест</sub>	S <sub>общ</sub>	Mg <sup>2+</sup>	Ln <sub>общ</sub>	F <sup>-</sup>
MgO+LaSF	9.76 ± 0.59 (0.04)	—	13.20 ± 0.24 (0.01)	9.11 ± 0.08 (0.01)	59.52 ± 0.56 (0.01)	7.81 ± 0.20 (0.02)
MgO+SmSF	3.26 ± 0.09 (0.02)	Следы	9.24 ± 0.19 (0.01)	9.32 ± 0.24 (0.02)	62.51 ± 0.29 (0.01)	7.26 ± 0.27 (0.02)
MgO+TmSF	Практически нет	Следы	7.48 ± 0.29 (0.02)	8.20 ± 0.10 (0.01)	65.39 ± 0.59 (0.01)	6.42 ± 0.28 (0.03)

теоретического). В MgO, использованном для синтеза изучаемых систем, ранее методом ИК-спектроскопии зафиксировано наличие примесей гидроксо- и карбонатных групп. "Недостаток" магния в изучаемых системах приводит к увеличению относительного содержания в них лантанидов.

Существенно расхождение "сульфидного теста" в "мягких" условиях для продуктов взаимодействия MgO с сульфотторидами разных лантанидов.

Отрицательный тест для системы MgO—TmSF свидетельствует о том, что весь сульфотторид тулия вступил в реакцию, а также подтверждает отсутствие MgS в образце. Относительно невысокое содержание S<sup>2-</sup><sub>мягк</sub> для системы MgO—SmSF указывает на то, что большая часть

сульфотторида самария прореагировала с оксидом магния. Для системы MgO—LaSF найдено высокое содержание S<sup>2-</sup><sub>мягк</sub>, что подтверждает данные РФА о неполном протекании левой реакции.

Отрицательный "сульфидный тест" в "жестких" условиях для изученных систем свидетельствует об отсутствии в них полисульфидов.

Найденные содержания общей серы занижены по сравнению с расчетными значениями. Это можно объяснить наличием в исходных сульфотторидах оксосульфидных фаз (содержащих S<sup>2-</sup> меньше, чем LnSF) или/и образованием в ходе взаимодействия MgO с LnSF летучих серосодержащих продуктов. В пользу такого предположения свидетельствует тот факт, что разница между расчетными и найденными содержаниями

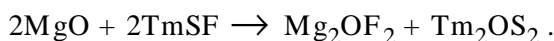
ми серы возрастает по мере увеличения полноты протекания целевой реакции в ряду дофторированных реагентов  $\text{LaSF}(\Delta = 0.73\%) \rightarrow \text{SmSF}(\Delta = 4.03\%) \rightarrow \text{TmSF}(\Delta = 4.84\%)$ .

Аналогичная картина наблюдается и для фторид-ионов: их содержания меньше расчетных, причем разница между теоретическими и экспериментально найденными значениями концентраций фторид-ионов возрастает по мере увеличения полноты протекания целевой реакции  $\text{MgO}$  с  $\text{LnSF}$  в ряду  $\text{LaSF}(\Delta = 0.44\%) \rightarrow \text{SmSF}(\Delta = 0.60\%) \rightarrow \text{TmSF}(\Delta = 0.88\%)$ .

Исходя из данных химического анализа, рассчитывали содержания основных компонентов в продуктах взаимодействия оксида магния с сульфидными фторидами лантанидов.

*Система  $\text{MgO}—\text{TmSF}$ .* Содержания магния и фтора, найденные в продукте взаимодействия оксида магния и сульфидного фторида тулия, соответствуют не формуле  $\text{MgF}_2$ , а  $\text{MgF}$ . С химической точки зрения существование такого соединения в конденсированном состоянии невозможно. Однако известна способность магния образовывать галогениды, в состав которых входит катион  $(-\text{Mg}-\text{O}-\text{Mg})^{2+}$  [13]. Поэтому высказано предположение, что в анализируемом объекте в значительном количестве присутствует оксофторид магния  $\text{Mg}_2\text{OF}_2$ , который идентифицируется РФА как  $\text{MgF}_2$  с деформированной кристаллической решеткой.

Поскольку в системе отсутствуют  $\text{TmSF}$  и  $\text{MgS}$ , можно считать, что весь тулий и вся сера входят в состав оксосульфида, однако расчет  $C_{\text{Tm}_2\text{O}_2\text{S}}$  по сере дает существенно завышенное значение (93.73 %). Очевидно, что в анализируемом образце присутствует смесь оксосульфидов, где, кроме  $\text{Tm}_2\text{O}_2\text{S}$ , наиболее вероятно наличие оксосульфида  $\text{Tm}_2\text{OS}_2$ , который может образоваться в результате реакции:



Поэтому рассчитывали содержания основных компонентов —  $\text{Mg}_2\text{OF}_2$ ,  $\text{Tm}_2\text{O}_2\text{S}$ ,  $\text{Tm}_2\text{OS}_2$ . По  $C_{\text{F,общ}}$  находили содержание оксофторида ( $C_{\text{Mg}_2\text{OF}_2}$ ). Результат расчета  $C_{\text{Mg}_2\text{OF}_2}$  по  $C_{\text{Mg,общ}}$  совпадает с расчетом по фтору. Расчетным путем установлено, что из всех параметров для смесей  $\text{Tm}_2\text{O}_2\text{S}$  и  $\text{Tm}_2\text{OS}_2$  с различным соотношением оксосульфидов линейно коррелируют  $C_{\text{Tm}_2\text{O}_2\text{S}}(x)$  и  $\lg C_{\text{Tm}}/C_{\text{S}}(y)$ . Соответствующее урав-

нение имеет вид:  $y = 0.003x + 0.7137$  ( $R^2 = 0.9946$ ). По  $C_{\text{Tm,общ}}$  и  $C_{\text{S,общ}}$  рассчитывали  $y = 0.9415$  и по уравнению находили  $C_{\text{Tm}_2\text{O}_2\text{S}}$  — относительное содержание данного оксосульфида в оксосульфидной смеси (%). По  $C_{\text{Tm}_2\text{O}_2\text{S}}$  рассчитывали относительное содержание тулия (%) и по данной величине и общему содержанию тулия находили  $C_{\text{Tm/Tm}_2\text{O}_2\text{S}}$  абсолютное. Из  $C_{\text{Tm/Tm}_2\text{O}_2\text{S}}$  рассчитывали  $C_{\text{Tm}_2\text{O}_2\text{S}}$ . По разности  $C_{\text{Tm,общ}}$  и  $C_{\text{Tm/Tm}_2\text{O}_2\text{S}}$  находили  $C_{\text{Tm/Tm}_2\text{OS}_2}$ , а из последнего рассчитывали  $C_{\text{Tm}_2\text{OS}_2}$ .

*Системы  $\text{MgO}—\text{SmSF}$  и  $\text{MgO}—\text{LaSF}$ .* Положительный "сульфидный тест" в "мягких" условиях для продуктов взаимодействия  $\text{MgO}$  с сульфидными фторидами самария и лантана указывает на наличие в данных системах непрореагировавших  $\text{LnSF}$  и  $\text{MgO}$ .

Поскольку во всех изученных системах РФА не обнаруживает фазу  $\text{MgS}$  и фиксирует искажение параметров кристаллической решетки  $\text{MgF}_2$ , для данных объектов рассчитывали содержания основных компонентов:  $\text{Mg}_2\text{OF}_2$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{LnSF}$ ,  $\text{Ln}_2\text{O}_2\text{S}$ ,  $\text{Ln}_2\text{OS}_2$ , где  $\text{Ln} = \text{Sm}, \text{La}$ . По содержанию  $S_{\text{мягк}}^{2-}$  рассчитывали  $C_{\text{LnSF}}$ , а из этой величины находили  $C_{\text{Ln/LnSF}}$  и  $C_{\text{F/LnSF}}$ . По разности между общими содержаниями компонентов и их содержаниями в сульфидных фторидах самария и лантана рассчитывали  $C_{\text{Ln}}$  и  $C_{\text{S}}$  в сумме оксосульфидов, а также  $C_{\text{F/Mg}_2\text{OF}_2}$ . Из  $C_{\text{F/Mg}_2\text{OF}_2}$  находили  $C_{\text{Mg}_2\text{OF}_2}$ . Из  $C_{\text{Mg}_2\text{OF}_2}$  рассчитывали  $C_{\text{Mg/Mg}_2\text{OF}_2}$ . По разности  $C_{\text{Mg,общ}} - C_{\text{Mg/Mg}_2\text{OF}_2}$  находили  $C_{\text{Mg/MgO}}$  и по данной величине рассчитывали  $C_{\text{MgO}}$ .

Было установлено, что из параметров смеси оксосульфидов  $\text{Ln}_2\text{O}_2\text{S}$  и  $\text{Ln}_2\text{OS}_2$  (как и в случае оксосульфидов тулия) линейно коррелируют  $C_{\text{Ln}_2\text{O}_2\text{S}}(x)$  и  $\lg C_{\text{Ln,общ}}/C_{\text{S,общ}}(y)$ . Соответствующие уравнения имеют вид:

$$\begin{aligned} &\text{для } \text{MgO}—\text{SmSF} \\ &y = 0.003x + 0.6606 \quad (R^2 = 0.9949); \quad y = 0.7843; \\ &\text{для } \text{MgO}—\text{LaSF} \\ &y = 0.003x + 0.6262 \quad (R^2 = 0.9947); \quad y = 0.7000. \end{aligned}$$

Относительные содержания  $\text{Ln}_2\text{O}_2\text{S}$  в смеси оксосульфидов, рассчитанные по соответствующим уравнениям, составляют 34.07 и 24.60 % для систем с  $\text{Sm}$  и  $\text{La}$  соответственно. Относительные содержания лантанидов (от их общего содержания в сумме оксосульфидов) равны 12.40 ( $\text{Sm}$ ) и 19.98 ( $\text{La}$ ). Зная общие содержания лантанидов в сумме оксосульфидов, находили  $C_{\text{Ln/Ln}_2\text{O}_2\text{S}}$ ,

Т а б л и ц а 3

Расчетные содержания основных компонентов (%) в продуктах взаимодействия MgO с LnSF

Образец	Mg <sub>2</sub> OF <sub>2</sub>	MgO	LnSF	Ln <sub>2</sub> O <sub>2</sub> S	Ln <sub>2</sub> OS <sub>2</sub>	Σ
MgO+TmSF	17.34	—	—	49.66	29.26	96.26
MgO+SmSF	10.88	6.91	34.57	15.04	27.04	94.44
MgO+LaSF	5.64	10.68	57.89	4.06	17.90	96.17

а из данных величин рассчитывали  $C_{Ln_2O_2S}$ . По разности  $C_{Ln/Ln_xO_yS_z} - C_{Ln/Ln_2O_2S}$  находили  $C_{Ln/Ln_2OS_2}$ , а из последнего рассчитывали  $C_{Ln_2OS_2}$ .

Расчетные содержания основных компонентов в изученных системах приведены в табл. 3.

Полученные данные показывают, что по мере увеличения полноты протекания целевой реакции (в ряду LaSF → SmSF → TmSF) в продуктах взаимодействия MgO с LnSF уменьшаются содержания MgO и сульфоторида лантанида (в системе MgO—TmSF оксид магния и сульфоторид тулия не фиксируются); возрастает содержание суммы оксосульфидов (26.02; 42.08 и 78.92 % соответственно) и соотношение содержаний  $Ln_2O_2S : Ln_2OS_2$  (0.18 → 0.56 → 1.7 соответственно).

**ВЫВОДЫ.** Таким образом, предложенная схема вещественного анализа продуктов взаимодействия MgO с различными сульфоторидами лантанидов, основанная на "сульфидном тестировании" в сочетании с определением катионов и F<sup>-</sup> ионов, позволяет устанавливать наличие и оценивать содержания различных форм серы, рассчитывать массовые доли различных лантанид- и магнийсодержащих оксофаз. Данные химического анализа подтверждают лучшую (в ряду LaSF → SmSF → TmSF) кислородотнимающую способность сульфоторида тулия, который может быть рекомендован в качестве легирующей добавки к материалам на основе MgF<sub>2</sub>.

**РЕЗЮМЕ.** Запропоновано схему речовинного аналізу продуктів взаємодії оксиду магнію із сульфоторидами лантану, самарію, тулію, яка дозволяє встановлювати наявність та оцінювати вміст хімічних форм сульфуру, розраховувати масові частки різних лан-

танід- і магнійвмісних оксосполук. Дані хімічного аналізу підтверджують ефективність використання сульфоториду тулію в якості легуючої добавки до матеріалу на основі фториду магнію для усунення з нього оксигенвмісних домішок.

**SUMMARY.** It was proposed the scheme of speciation analysis of the products of interaction of magnesium oxide with lanthanum, samarium, and thulium

sulfofluorides, which makes possible to fix and to assess the content of sulfur forms, and to calculate mass parts of various lanthanide- and magnesium-containing oxo-compounds. The chemical analysis data confirm the effectiveness of thulium sulfofluoride as an alloying additive to material based on magnesium fluoride for elimination of oxygen-containing admixtures.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Зінченко В.Ф., Магунов І.Р., Тімухін С.В., Кривда М.Ю. // Фізика і хімія тв. тіла.-2011. -12, № 4.-С. 974—979.
2. Зінченко В.Ф., Магунов І.Р., Стоянова І.В. та ін. // Там же. -2011. -12, № 3. -С. 676—683.
3. Сусленникова В.М., Киселева Е.К. Руководство по приготовлению титрованных растворов. -Л.: Химия, 1968.
4. Юрист И.М., Талмуд М.М. Селективное комплексонометрическое титрование. -М.: Наука, 1993.
5. Антонович В.П., Стоянова И.В., Чивирева Н.А. и др. // Річна сесія наук. ради НАН України з проблеми "Аналітична хімія", 25–30 травня 2009 р., -Київ. -2009. -С. 6.
6. Чивирева Н.А., Стоянова И.В., Магунов И.Р. и др. // Укр. хим. журн. -2012. -78, № 4. -С. 120—124.
7. Антонович В.П., Чивирева Н.А., Стоянова И.В. и др. // Журн. аналит. химии. -2003. -58, № 11. -С. 1165—1171.
8. Лурье Ю.Ю. Справочник по аналитической химии. -М.: Химия, 1989.
9. Кумок В.Н., Кулешова О.М., Карабин Л.А. Произведения растворимости. -Новосибирск: Наука, 1983.
10. Itoh H., Nachiya H., Tsuchiya M. et al. // Bull. Chem. Soc. Japan. -1984. -57. -P. 1689—1690.
11. Чивирева Н.А., Сахарова О.А., Антонович В.П. и др. // Укр. хим. журн. -2010. -76, № 7. -С. 59—64.
12. Чивирева Н.А., Голик Н.Н., Антонович В.П. и др. // Там же. -2005. -71, № 1. -С. 67—70.
13. Краткая химическая энциклопедия в 5-ти томах. -М.: Изд-во Советская энциклопедия, 1990. -Т. 2.