

ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА ТЕРБИЯ С МЕТИЛОВЫМ ЭФИРОМ S-(4-БРОМАНИЛИДОМ) СУЛЬФОСАЛИЦИЛОВОЙ КИСЛОТЫ**С.А. Эльчепарова, А.А. Кокоева, И.А. Татрокова**

Светлана Анатольевна Эльчепарова

Кафедра неорганической и физической химии, Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова, ул. Чернышевского, 173, Нальчик, Российская Федерация, 360004

E-mail: elcheparova.lana@mail.ru

Анета Ахмедовна Кокоева *

Управление по проектно-инновационной деятельности, Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова, ул. Чернышевского, 173, Нальчик, Российская Федерация, 360004

E-mail: al-aneta@mail.ru*

Инна Арсеновна Татрокова

Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова, ул. Чернышевского, 173, Нальчик, Российская Федерация, 360004

E-mail: innatatrokova@mail.ru

Представляло интерес провести поиски люминесцентных реакций на тербий в комплексах с производными сульфосалициловой кислоты и их усилению путем исследования влияния третьих компонентов (аминополикарбоновые кислоты, органические основания и поверхностно-активные вещества). Спектры поглощения растворов комплексов РЗЭ в интервале длин волн 220-880 нм регистрировали с помощью спектрофотометра СФ-26. Для получения максимального свечения люминесцентной реакции РЗЭ в комплексах с органическими реагентами был изучен ряд факторов, которые оказывают существенное влияние на интенсивность растворов люминесцирующих комплексов. Такими факторами являются рН растворов комплексов, концентрация реагента, время созревания комплексов, время облучения, порядок добавления реагентов и ионная сила растворов. Как показали результаты проведенных исследований, поверхностно-активные вещества увеличивают интенсивность свечения ионов тербия в комплексах с производными сульфосалициловой кислоты. В качестве поверхностно-активного вещества использовали растворы децилпиридиния хлористого. Установлено существование яркой люминесцентной реакции зеленого цвета тербия в комплексе с метиловым эфиром S-(4-броманилидом) сульфосалициловой кислоты. Подобраны оптимальные условия комплексообразования тербия и разработаны высокочувствительные люминесцентные методы определения тербия в различных объектах. Тербий переводят в люминесцирующее комплексное соединение с органическим реагентом - метиловым эфиром S-(4-броманилидом) сульфосалициловой кислоты в присутствии катионного поверхностно-активного вещества хлорида децилпиридиния в соотношении 1: 2: 13, рН 7,9±0,08. Получаемое комплексное соединение тербия при облучении ультрафиолетовым светом ртутной лампы дает интенсивную люминесценцию зеленого цвета, устойчивую во времени стояния и облучения. Предложенный способ позволяет определить тербий в оксидах редкоземельных элементов, являющихся тушителями люминесценции с чувствительностью 10⁻⁸%, минуя стадию экстракции. Чувствительность определения тербия в оксидах остальных лантанидов составляет 2,4·10⁻¹⁰%.

Ключевые слова: редкоземельные элементы, лантаниды, органический реагент, комплексное соединение, тербий, люминесценция, предел обнаружения

Для цитирования:Эльчепарова С.А., Кокоева А.А., Татрокова И.А. Люминесцентные свойства тербия с метиловым эфиром S-(4-броманилидом) сульфосалициловой кислоты. *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2021. Т. 64. Вып. 1. С. 27–33**For citation:**Elcheparova S.A., Kokoeva A.A., Tatrokova I.A. Luminescent properties of terbium with S-(4-bromanilide) methyl ether of sulfosalicylic acid. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol. [ChemChemTech].* 2021. V. 64. N 1. P. 27–33

LUMINESCENT PROPERTIES OF TERBIUM WITH S- (4-BROMANILIDE) METHYL ETHER OF SULFOSALICYLIC ACID

S.A. Elcheparova, A.A. Kokoeva, I.A. Tatrokova

Svetlana A. Elcheparova

Department of Inorganic and Physical Chemistry, Kabardino-Balkarian State University named after H.M. Berbekova, Chernyshevsky st., 173, Nalchik, 360004, Russia
E-mail: elcheparova.lana@mail.ru

Aneta A. Kokoeva *

Department for Design and Innovation Activity, Kabardino-Balkarian State University named after H.M. Berbekova, Chernyshevsky st., 173, Nalchik, 360004, Russia
E-mail: al-aneta@mail.ru*

Inna A. Tatrokova

Kabardino-Balkarian State University named after H.M. Berbekova, Chernyshevsky st., 173, Nalchik, 360004, Russia
E-mail: innatatrokova @ mail.ru

It was of interest to search for luminescent reactions to terbium in complexes with sulfosalicylic acid derivatives and to strengthen them by studying the influence of the third components (aminopolycarboxylic acids, organic bases, and surfactants). Absorption spectra of solutions of rare earth element complexes in the wavelength range of 220-880 nm were recorded using the SF-26 spectrophotometer. To obtain the maximum luminescence of the luminescent reaction of rare earth elements in complexes with organic reagents, a number of factors that have a significant impact on the intensity of solutions of luminescent complexes have been studied. Such factors are the pH of the complexes, concentration of reagent, time of maturation complexes, the irradiation time, the order of adding the reagents and the ionic strength of the solutions. According to studies conducted, surfactants increase the luminosity of terbium ions in complexes with sulfosalicylic acid derivatives. As a surfactant, decylpyridinium chloride was used in solutions. The existence of a bright luminescent green reaction of terbium in a complex with methyl ester S- (4-bromanilide) sulfosalicylic acid was established. The optimal conditions for the complexation of terbium were selected and highly sensitive luminescent methods for determining terbium in various objects were developed. Terbium is converted into a luminescent complex compound with an organic reagent S- (4-bromanilide) sulfosalicylic acid methyl ester in the presence of a cationic surfactant decylpyridinium chloride in a ratio of 1: 2: 13, pH 7.9 ± 0.08 . The resulting complex compound of terbium upon irradiation with a mercury lamp under ultraviolet light gives intense green luminescence that is stable during standing and irradiation. As a consequence, the proposed method allows to determine terbium in the oxides of rare earth elements, which are quenchers of luminescence with a sensitivity of $10^{-8}\%$, bypassing the extraction stage. The sensitivity of the determination of terbium in the oxides of the remaining lanthanides is $2.4 \cdot 10^{-10}\%$.

Key words: rare earth elements, lanthanides, organic reagent, complex compound, terbium, luminescence, detection limit

ВВЕДЕНИЕ

Возрастающая необходимость применения лантанидов ставит перед учеными химиками-аналитиками проблему разработки новых, более совершенных методов их определения. Научные достижения в технологии получения и очистки соединений лантанидов обусловили их широкое применение в различных областях науки, техники и промышленности, в том числе в сфере высоких

технологий. Лантаниды широко применяются в электронной, полупроводниковой, стекольной промышленности, волоконной оптике, медицине, лазерной технике, в оптических квантовых генераторах и др. [1-6].

Близость химических свойств лантанидов осложняет их разделение друг от друга. Химические методы анализа лантанидов используются, в

основном, либо для определения их общего содержания, либо для отдельного определения смеси элементов цериевой и иттриевой подгрупп [7-13].

Для определения индивидуальных лантанидов общепризнаны универсальными спектрофотометрические и люминесцентные методы анализа, которые отличаются от других физических и физико-химических методов простотой выполнения и низкими пределами обнаружения редкоземельных элементов (РЗЭ).

Как известно, в Кабардино-Балкарском государственном университете были изучены люминесцентные свойства РЗЭ в комплексах с фенолами и их замещенными. [14-23] В настоящее время эти исследования продолжают на фоне снижения предела обнаружения РЗЭ в комплексах с производными салициловой (СК) и сульфосалициловой (ССК) кислот. Для этой цели было синтезировано большое количество производных СК и ССК.

Как показали экспериментальные данные, со всеми фенолами и их замещенными и с производными СК и ССК тербий дает яркие люминесцентные реакции зеленого цвета (переход $^5D_4 \rightarrow ^7F_5$) при $\lambda = 543$ нм в нейтральных или слабощелочных средах.

Обнаружена яркая высокочувствительная люминесцентная реакция зеленого цвета тербия в комплексе с метиловым эфиром S-(4-броманилидом) сульфосалициловой кислоты (МЭБАСК).

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Реагенты. Растворы хлоридов РЗЭ, использованные в настоящей работе, готовили из соответствующих химически чистых оксидов РЗЭ, чистотой не ниже 99,5-99,9%. Предварительно оксиды прокачивали в течение 1 ч в муфельной печи при температуре 650-700 °С и охлаждали в эксикаторе. Навеску оксидов обрабатывали соляной кислотой, и раствор затем выпаривали. Сухой остаток растворяли в дистиллированной воде для получения концентрации R_2O_3 1 мг/мл или 1,1 М. Растворы с меньшей концентрацией РЗЭ готовили их разбавлением.

Концентрацию растворов хлоридов РЗЭ контролировали трилонометрическим методом. Титрование проводили в присутствии уротропина (рН), в качестве индикатора применяли арсеназо 1 [15].

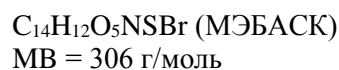
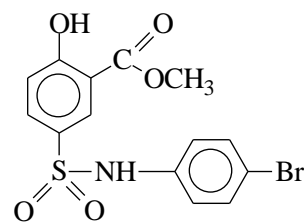
Перед использованием органические реагенты подвергали трехкратной перекристаллизации. Далее из них готовили растворы реагентов $1 \cdot 10^{-3}$ - 10^{-1} М, а растворы с меньшей концентрацией – соответствующим разбавлением. Для замещен-

ных сульфосалициловой кислоты в качестве растворителя использовался только этиловый спирт.

Использованные в работе растворы ПАВ – хлорид децилпиридиния (ДЦПХ), готовили растворением точной навески в дистиллированной воде. Водные растворы ПАВ имели $1 \cdot 10^{-2}$ М, $1 \cdot 10^{-3}$ М концентрацию.

Для создания различных значений рН использовали растворы аммиака, хлористоводородной кислоты, уротропина, гидроксида калия и натрия квалификации «х.ч.» [13, 14].

Растворы МЭБАСК готовили из точной навески 0,386 г, растворяли в этиловом спирте в объеме 100 мл.



Аппаратура и техника измерений. Измерение рН растворов комплексов, реактивов, хлоридов РЗЭ производили с помощью иономера ЭВ-74 со стеклянными электродами, прокалиброванными по стандартным буферным растворам.

Спектры люминесценции регистрировали с помощью люминесцентной установки, собранной из спектрометра ДФС-24 с самописцем КСП-4.

Методика работы. В пробирки вместимостью 20 мл помещали раствор хлорида РЗЭ, нужные количества реагентов, создавали необходимые значения рН растворов, объем доводили до 10 мл и измеряли оптическую плотность (A) в кювете с $l = 10$ мм относительно раствора холостого опыта. Для измерения I_{lum} растворы комплексов готовили таким же образом. Для измерения интенсивности полос спектра люминесценции ионов РЗЭ в комплексах шкалу барабана длин волн устанавливали на 20-30 нм до положения максимума полосы люминесценции, открывали затвор перед осветителем и одновременно включали развертку длин волн и лентопротяжный механизм самописца. По окончании записи барабан шкалы длин волн возвращали в исходное положение и, таким образом, записывали спектры люминесценции растворов. Относительная интенсивность полос измерялась линейкой с миллиметровыми делениями. Основание начала и конца полосы люминесценции соединяли линией, и из вершины пика опускали перпендикуляр до пересечения с этой линией.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

При добавлении к раствору тербия раствора МЭБАСК, установлении pH = 7,5 и облучении УФ-светом наблюдается интенсивная люминесценция зеленого цвета, характерная для ионов тербия.

На рис. 1 представлена запись спектра люминесценции хлорида тербия, реагента МЭБАСК и комплекса Tb с МЭБАСК. В случае реагента МЭБАСК наблюдается небольшой пик при λ = 543 нм, но из-за низкой интенсивности свечения он не улавливается. В интервале от 450 до 650 нм наблюдаются два максимума люминесценции комплекса: при λ = 489 нм (переход ⁵D₄→⁷F₆) и при λ = 547 нм (переход ⁵D₄→⁷F₅). Максимум свечения комплекса Tb с МЭБАСК ярко-зеленого цвета наблюдается при λ = 547 нм.

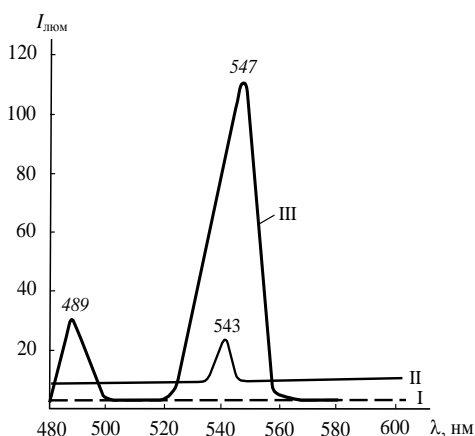


Рис. 1. Спектры люминесценции растворов хлорида тербия (I), МЭБАСК (II) и комплекса Tb с МЭБАСК (III) в интервале 480-600 нм, С_{Tb} = С_{МЭБАСК} = 1·10⁻³М; pH = 7,5; l = 1 см; V = 10 мл
Fig.1. The luminescence spectra of the solutions of terbium chloride (I), MABASC (II) and the complex of Ti with MABASC (III) in the range of 480-600 nm, С_{Tb} = С_{МЭБАСК} = 1·10⁻³ М; pH = 7.5; l = 1 см; V = 10 ml

Важным параметром, характеризующим влияние окружения на 4f-оболочку иона лантанида, является соотношение интенсивностей двух полос (ξ) спектра люминесценции иона лантанида – одной, соответствующей «сверхчувствительному» переходу, и другой, соответствующей магнитно-дипольному переходу. На основании записи интенсивности люминесценции растворов комплексов тербия с МЭБАСК при длинах волн 489 нм и 547 нм нами было рассчитано соотношение ξ, равное 3,64.

$$\xi = \frac{I_{5D_4 \rightarrow 7F_6}}{I_{5D_4 \rightarrow 7F_5}} = 3,64 \quad (1)$$

Сравнивая значение ξ = 3,64 с раствором аква-иона тербия: ξ = 3,02, можно сделать вывод о влиянии поля лиганда в данном комплексе.

Изучено соотношение компонентов в комплексе методом изоляриальных серий. Для этого брали растворы тербия и МЭБАСК в антибатных соотношениях, сохраняя неизменным общий объем растворов. Полученные данные свидетельствуют о том, что соотношение компонентов в комплексе составляет: Tb с МЭБАСК = 1:2. Соотношение компонентов в комплексе, равное 1:2, подтверждается и методом молярных отношений.

Изучена зависимость I_{люм} тербия от pH раствора, создаваемого добавлением разбавленных растворов HCl (1:10) и NH₄OH (1:10). Максимальная I_{люм} раствора комплекса тербия с МЭБАСК наблюдается в интервале pH = 6,5-8,5 с максимумом pH = 7,2 (рис. 2).

Для раствора, содержащего 0,5 мл 1·10⁻³М Tb, достаточным является добавление 1,3 мл 1·10⁻³ М раствора МЭБАСК.

Согласно результатам исследования, комплекс Tb с МЭБАСК в растворе созревает за 15 мин после сливания всех реагентов и далее остается стабильным более 4 ч. При облучении раствора комплекса УФ-светом I_{люм} Tb с МЭБАСК снижается за 30 мин на 60%.

Изучено влияние различных растворителей на I_{люм} комплекса Tb с МЭБАСК: воды, этилового спирта, ацетона, толуола, четыреххлористого углерода, изопропилового спирта, хлороформа и др.

Как показали опыты, наибольшая интенсивность люминесценции растворов комплекса Tb с МЭБАСК наблюдается в водно-спиртовых растворах.

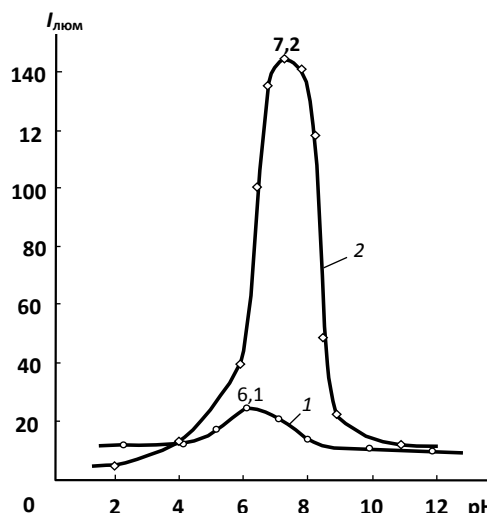


Рис. 2. Зависимости I_{люм} раствора комплекса Tb – МЭБАСК от pH среды, С_{Tb} = С_{МЭБАСК} = 1·10⁻³ М; λ = 547 нм; V = 10 мл; l = 1 см, 1 – реагент; 2 – комплекс

Fig.2. Dependences of I_{lum} of solution of the complex Tb – МЭБАСК on pH, С_{Tb} = С_{МЭБАСК} = 1·10⁻³ М; λ = 547 нм; V = 10 ml; l = 1 см, 1-reagent; 2-complex

Изучено влияние посторонних лантанидов на интенсивность люминесценции раствора образующегося комплексного соединения Tb с МЭБАСК. Для этого брали 0,5 мл 10^{-3} М раствора тербия, 3 мл 10^{-3} М раствора МЭБАСК, создавали рН = 7,2. Через 20 мин измеряли $I_{\text{люм}}$ растворов комплекса Tb с МЭБАСК при $\lambda = 547$ нм. Результаты исследования влияния индивидуальных РЗЭ на интенсивность свечения раствора комплекса тербия с МЭБАСК представлены на рис. 3. Как видно из рисунка, кривая зависимости $I_{\text{люм}}$ от номера РЗЭ имеет характерный вид с резким подъемом в начале, середине и конце. Сильное гасящее действие оказывают ионы Ce^{3+} , Pr^{3+} , Nd^{3+} , Sm^{3+} , Dy^{3+} , Ho^{3+} , Er^{3+} , Tm^{3+} . Ионы лютеция, по данным эксперимента, увеличивают $I_{\text{люм}}$, что является предметом дополнительного исследования. Нижний предел обнаружения Tb в комплексе с МЭБАСК равен $2,3 \cdot 10^{-9}$ г/мл Tb.

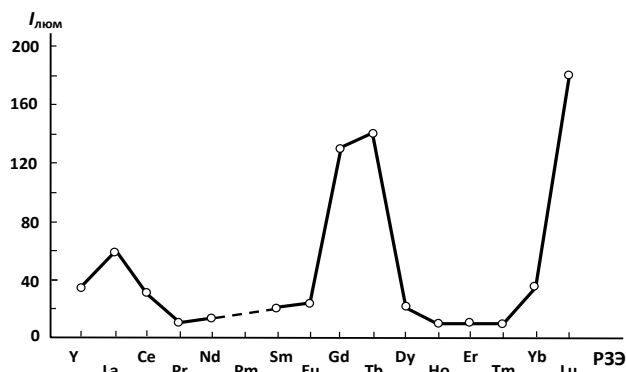


Рис.3. Зависимость интенсивности люминесценции комплекса Tb с МЭБАСК от влияния других РЗЭ, $C_{\text{Tb}} = 0,5$ мл $1 \cdot 10^{-3}$ М, $C_{\text{РЗЭ}} = 0,5$ мл $1 \cdot 10^{-3}$ М, $C_{\text{МЭБАСК}} = 3$ мл $1 \cdot 10^{-3}$ М, рН = 7,5, $\lambda = 547$ нм, $V = 10$ мл, $\ell = 1$

Fig.3. Dependence of luminescence intensity of Tb complex with MEBSC on the influence of other REE, $C_{\text{Tb}} = 0.5$ ml $1 \cdot 10^{-3}$ M, $C_{\text{REE}} = 0.5$ ml $1 \cdot 10^{-3}$ M, $C_{\text{MEBSC}} = 3$ ml $1 \cdot 10^{-3}$ M, рН = 7.5, $\lambda = 547$ nm, $V = 10$ ml, $\ell = 1$

Исследована возможность образования смешанно-лигандных комплексов Tb с МЭБАСК и

органическими реагентами (ЭДТА, *o*-фенантролин, дипиридил и др.). Установлено, что при введении в раствор комплекса Tb с МЭБАСК органических оснований или аминополикарбоновых кислот происходит тушение $I_{\text{люм}}$ раствора комплекса Tb с МЭБАСК.

Влияние ПАВ. В результате проведенного эксперимента по исследованию влияния ПАВ на интенсивность люминесцентного свечения ионов Tb в растворах комплексов с МЭБАСК установлено увеличение интенсивности квантового выхода люминесценции ионов тербия при введении в раствор децилпиридиния хлористого (ДЦПХ). Соотношение компонентов в комплексе в мицеллярной среде равно Tb:МЭБАСК:ДЦПХ = 1:2:13.

Максимальное значение $I_{\text{люм}}$ раствора комплекса Tb с МЭБАСК в мицеллярной среде проявляется в интервале рН = 7,6–8,1. Максимум свечения раствора комплекса достигается через 15 мин после сливания всех реагентов и далее остается постоянным более 1 сут. При облучении УФ-светом раствора соли Tb с МЭБАСК в присутствии ДЦПХ $I_{\text{люм}}$ снижается за 30 мин на 35%. Нижний предел обнаружения Tb в комплексе с МЭБАСК снижается на три порядка в мицеллярной среде и составляет $2,2 \cdot 10^{-12}$ г/мл Tb.

ВЫВОДЫ

В развитии люминесцентного метода анализа изучены и введены в практику аналитической химии люминесцирующие комплексы тербия с производными сульфосалициловой кислоты–МЭБАСК

Обнаружено существование ярких люминесцентных реакций тербия зеленого цвета.

Установлено существование индивидуальных оптимальных условий комплексообразования тербия в люминесцирующих растворах комплексов с МЭБАСК как новый люминесцентный реагент на тербий с нижним пределом обнаружения в природных объектах $2,4 \cdot 10^{-10}$ г/мл.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Junji K., Yoshi O.** Organo Lanthanide Metal Complexes for Electroluminescent Materials. *Chem. Rev.* 2002. V. 102. P. 2357–2368. DOI: 10.1021/cr010448y.
2. **Katkova M.N., Bochkarev M.A.** New Trends in Design of Electroluminescent Rare Earth Metallo-Complexes for OLEDs. *Dalton Trans.* 2010. V. 39. P. 6599–6612. DOI: 10.1039/c001152e.
3. **Reddy M.L., Diviya V., Pavithran R.** Visible-light sensitized luminescent europium(III)- β -diketonate complexes: bioprobes for cellular imaging. *Dalton Trans.* 2013. V. 42. P. 15249–15262. DOI: 10.1039/c3dt52238e.

REFERENCES

1. **Junji K., Yoshi O.** Organo Lanthanide Metal Complexes for Electroluminescent Materials. *Chem. Rev.* 2002. V. 102. P. 2357–2368. DOI: 10.1021/cr010448y.
2. **Katkova M.N., Bochkarev M.A.** New Trends in Design of Electroluminescent Rare Earth Metallo-Complexes for OLEDs. *Dalton Trans.* 2010. V. 39. P. 6599–6612. DOI: 10.1039/c001152e.
3. **Reddy M.L., Diviya V., Pavithran R.** Visible-light sensitized luminescent europium(III)- β -diketonate complexes: bioprobes for cellular imaging. *Dalton Trans.* 2013. V. 42. P. 15249–15262. DOI: 10.1039/c3dt52238e.

4. **Quici S., Barigelletti F.** Design of luminescent lanthanide complexes: From molecules to highly efficient photo-emitting materials. *Coord. Chem. Rev.* 2010. V. 2. P. 487–505. DOI: 10.1016/j.ccr.2009.07.025.
5. **Werts M. H. V., Woudenberg R. H., Emmerink P. G., Gassel R. van, Hofstraat J. W., Verhoeven J. W.** A Near-Infrared Luminescent Label Based on Yb(III) Ions and Its Application in a Fluoroimmunoassay. *Angew. Chem. Intern. Ed.* 2000. V. 39. N 24. P. 4542–4544. DOI: 10.1002/1521-3773(20001215)39:24<4542::AID-ANIE4542>3.0.CO;2-C.
6. **Bakhmetyev V.V., Lebedev L.A., Vlasenko A.B., Bogdanov S.P., Sovestnov A.E., Minakova T.S., Minakova L.Yu., Sychov M.M.** Luminescent Materials on the Basis of Yttrium Oxide and Yttrium Aluminum Garnet Used for Photodynamic Therapy. *Key Eng. Materials.* 2015. V. 670. P. 232–238. DOI: 10.4028/www.scientific.net/KEM.670.232.
7. **Monakhova Yu.B., Pozharov M.V., Zakharova T.V., Khvorostova E.K., Markin A.V., Lachenmeier D.W., Kuballa Th., Mushtakova S.P.** Association/Hydrogen Bonding of Acetone in Polar and Non-polar Solvents: NMR and NIR Spectroscopic Investigations with Chemometrics. *J. Sol. Chem.* 2014. V. 43. N 11. P. 1963–1980. DOI: 10.1007/s10953-014-0249-1.
8. **Hyoungh Sun Yoo, Ho Seong Jang, Won Bin Im, Jong Hyuk Kang, Duk Young Jeon.** Particle size control of a monodisperse spherical Y₂O₃:Eu³⁺ phosphor and its photoluminescence properties. *J. Mater. Res.* 2007. V. 22. N 7. P. 2017–2024. DOI: 10.1557/jmr.2007.0257.
9. **Liu Xingwang, Wang Na, Suo Quanling.** Synthesis and luminescence of rare earth ternary complexes consisting of Eu(III), β-diketones and 1,10-phenanthroline. *J. RE.* 2009. V. 26. P. 778–781. DOI: 10.1016/S1002-0721(09)60004-1.
10. **Кокоева А.А., Бегиева М.Б., Малкандуев Ю.А., Докшуккина М.А.** Кондуктометрический метод определения электропроводности растворов полиэлектролитов. *Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов.* 2019. № 11. С. 177–183. DOI: 10.26456/pcascnn/2019.11.177.
11. **Альмова А.А., Бегиева М.Б., Хараев А.М., Сивов Н.А., Малкандуев Ю.А.** N,N-диаллиламиноэтановая кислота и полимеры на ее основе. *Изв. вузов. Северо-Кавказ. рег. Естеств. науки.* 2012. № 3 (169). С. 53–58.
12. **Reddy M.L., Diviya V., Pavithran R.** Visible-light sensitized luminescent europium(III)-β-diketonate complexes: bioprobes for cellular imaging. *Dalton Trans.* 2013. V. 42. P. 15249–15262. DOI: 10.1039/c3dt52238e.
13. **Quici S., Barigelletti F., Armelao L.** Design of luminescent lanthanide complexes: From molecules to highly efficient photo-emitting materials. *Coord. Chem. Rev.* 2010. V. 2. P. 487–505. DOI: 10.1016/j.ccr.2009.07.025.
14. **Katkova M.A., Bochkarev M.N.** New Trends in Design of Electroluminescent Rare Earth Metallo-Complexes for OLEDs. *Dalton Trans.* 2010. V. 39. P. 6599–6612. DOI: 10.1039/c001152e.
15. **Белюсов Ю.А., Дроздов А.А.** Люминесцентные комплексы лантанидов. *Природа.* 2012. № 8. С. 39–45.
16. **Алакаева Л.А., Тхамоков А.К.** Эфиры производных сульфосалициловой кислоты как новые люминесцентные реагенты на тербий. *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2013. Т. 56. Вып. 6. С. 16–19.
17. **Алакаева Л.А., Бахова А.З.** Люминесцентные свойства тербия в комплексе с s-бутиловым эфиром сульфосалициловой кислоты. *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2013. Т. 56. Вып. 8. С. 22–25.
4. **Quici S., Barigelletti F.** Design of luminescent lanthanide complexes: From molecules to highly efficient photo-emitting materials. *Coord. Chem. Rev.* 2010. V. 2. P. 487–505. DOI: 10.1016/j.ccr.2009.07.025.
5. **Werts M. H. V., Woudenberg R. H., Emmerink P. G., Gassel R. van, Hofstraat J. W., Verhoeven J. W.** A Near-Infrared Luminescent Label Based on Yb(III) Ions and Its Application in a Fluoroimmunoassay. *Angew. Chem. Intern. Ed.* 2000. V. 39. N 24. P. 4542–4544. DOI: 10.1002/1521-3773(20001215)39:24<4542::AID-ANIE4542>3.0.CO;2-C.
6. **Bakhmetyev V.V., Lebedev L.A., Vlasenko A.B., Bogdanov S.P., Sovestnov A.E., Minakova T.S., Minakova L.Yu., Sychov M.M.** Luminescent Materials on the Basis of Yttrium Oxide and Yttrium Aluminum Garnet Used for Photodynamic Therapy. *Key Eng. Materials.* 2015. V. 670. P. 232–238. DOI: 10.4028/www.scientific.net/KEM.670.232.
7. **Monakhova Yu.B., Pozharov M.V., Zakharova T.V., Khvorostova E.K., Markin A.V., Lachenmeier D.W., Kuballa Th., Mushtakova S.P.** Association/Hydrogen Bonding of Acetone in Polar and Non-polar Solvents: NMR and NIR Spectroscopic Investigations with Chemometrics. *J. Sol. Chem.* 2014. V. 43. N 11. P. 1963–1980. DOI: 10.1007/s10953-014-0249-1.
8. **Hyoungh Sun Yoo, Ho Seong Jang, Won Bin Im, Jong Hyuk Kang, Duk Young Jeon.** Particle size control of a monodisperse spherical Y₂O₃:Eu³⁺ phosphor and its photoluminescence properties. *J. Mater. Res.* 2007. V. 22. N 7. P. 2017–2024. DOI: 10.1557/jmr.2007.0257.
9. **Liu Xingwang, Wang Na, Suo Quanling.** Synthesis and luminescence of rare earth ternary complexes consisting of Eu(III), β-diketones and 1,10-phenanthroline. *J. RE.* 2009. V. 26. P. 778–781. DOI: 10.1016/S1002-0721(09)60004-1.
10. **Kokoeva A.A., Begieva M.B., Malkanduev Yu.A., Dokshukina M.A.** Conductometric method for determining the electrical conductivity of solutions of polyelectrolytes. *Physico-chemical aspects of the study of clusters, nanostructures and nanomaterials.* 2019. N 11. P. 177–183 (in Russian). DOI: 10.26456/pcascnn/2019.11.177.
11. **Almova A.A., Begieva M.B., Charaev A.M., Sivov N.A., Malkanduev Yu.A.** N,N-diallylaminoethane acid and polymers based on it. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Severo-Kavkaz. reg. Estestv. Nauki.* 2012. N 3 (169). P. 53–58 (in Russian).
12. **Reddy M.L., Diviya V., Pavithran R.** Visible-light sensitized luminescent europium(III)-β-diketonate complexes: bioprobes for cellular imaging. *Dalton Trans.* 2013. V. 42. P. 15249–15262. DOI: 10.1039/c3dt52238e.
13. **Quici S., Barigelletti F., Armelao L.** Design of luminescent lanthanide complexes: From molecules to highly efficient photo-emitting materials. *Coord. Chem. Rev.* 2010. V. 2. P. 487–505. DOI: 10.1016/j.ccr.2009.07.025.
14. **Katkova M.A., Bochkarev M.N.** New Trends in Design of Electroluminescent Rare Earth Metallo-Complexes for OLEDs. *Dalton Trans.* 2010. V. 39. P. 6599–6612. DOI: 10.1039/c001152e.
15. **Belousov Yu.A., Drozdov A.A.** Luminescent complexes of lanthanides. *Priroda.* 2012. N 8. P. 39–45 (in Russian).
16. **Alakaeva L.A., Thamakov A.K.** Esters sulfosalicylic acid derivatives as new luminescent reagents for terbium. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* 2013. V. 56. N 6. P. 16–19 (in Russian).
17. **Alakaeva L.A., Bakhova A.Z.** Luminescent properties of terbium in complex with s-butyl ether of sulfosalicylic acid. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* 2013. V. 56. N 8. P. 22–25 (in Russian).

18. Алакаева Л.А., Эльчепарова С.А., Гурдалиев Х.Х., Бахова А.З. Люминесцентные свойства тербия в комплексе с s-бутил метиловым эфиром сульфосалициловой кислоты. *Изв. вузов. Сев.-Кавказ. рег. Естеств. науки*. 2005. Т. 11. С. 98-101.
19. Эльчепарова С.А., Алакаева Л.А. Новая люминесцентная реакция на редкоземельные элементы. Сб. научн. тр. молодых учёных КБГУ. Нальчик: КБГУ. 2005. С. 135-138.
20. Алакаева Л.А., Ульбашева Р.Д. Люминесцентные методы исследования комплексных соединений. Нальчик: КБГУ. 2003. С. 58.
21. Матюшкина Ю.И., Шабарин А.А. Изучение анионообменной экстракции некоторых анионных комплексов железа (III) органическими растворами четвертичных аммониевых солей. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2019. Т. 62. Вып. 2. С. 25-30. DOI: 10.6060/ivkkt.20196202.5782
22. Чернова О.В., Жуковин С.В. Кинетика восстановления ионов тербия в эквимольном расплаве хлоридов натрия и калия. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2020. Т. 63. Вып. 1. С. 58-63. DOI: 10.6060/ivkkt.20206301.6051.
23. Сафармамадов С.М., Мирзохонов Д.Ч., Мабаткадамзода К.С. Комплексообразование кадмия (II) с 2-метилимидазолом в водных и водно-спиртовых растворах. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2020. Т. 63. Вып. 10. С. 36-45. DOI: 10.6060/ivkkt.20206310.6201.
18. Alakaeva L.A., Elcheparova S.A., Gordaliev H.H., Bakhova A.Z. Luminescent properties of terbium in complex with s-butyl methyl ether of sulfosalicylic acid. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Severo-Kavkaz. Reg. Estestv. Nauki*. 2005. V. 11. P. 98-101 (in Russian).
19. Elcheparova S.A., Alakaeva L.A. New fluorescent reaction on rare earth elements. Sat. works of young scientists of Kabardino-Balkarian state University. Nalchik: KBGU. 2005. P. 135-138 (in Russian).
20. Alakaeva L.A., Ulbasheva R.D. Fluorescent methods of research of complex compounds. Nalchik: KBGU. 2003. P. 58 (in Russian).
21. Matyushkina Yu.I., Shabarin A.A. Study of anion exchange extraction of some anionic complexes of iron (III) by organic solutions of quaternary ammonium salts. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* 2019. V. 62. N 2. P. 25-30 (in Russian). DOI: 10.6060/ivkkt.20196202.5782.
22. Chernova O.V., Zhykovin S.V. Reduction kinetics of terbium ions in equimolar melting sodium and potassium chloride. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* 2020. V. 63. N 1. P. 58-63 (in Russian). DOI: 10.6060/ivkkt.20206301.6051.
23. Safarmamadov S.M., Mirzokhonov D.Ch., Mabatkadamzoda K.S. Complex formation of cadmium (II) with 2-methylimidazole in aqueous and aqueous-alcohol solutions. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* 2020. V. 63. N 10. P. 36-45 (in Russian). DOI: 10.6060/ivkkt.20206310.6201.

Поступила в редакцию 25.11.2019
Принята к опубликованию 14.09.2020

Received 25.11.2019
Accepted 14.09.2020