

4. Самцов М. П., Тихомиров С. А., Буганов О. В. и др. // Журн. прикл. спектроскопии. 2009. Т. 76. № 6. С. 830.
5. Воропай Е. С., Самцов М. П., Каплевский К. Н. и др. // Изв. РАН. Сер. физ. 2007. Т. 71. № 1. С. 145.
6. Самцов М. П., Воропай Е. С., Ляшенко Л. С. и др. // Журн. прикл. спектроскопии. 2011. Т. 78. № 1. С. 121.
7. Nenay M., Mojzych M. // Top. Heterocycl. Chem. 2008. Vol. 14. P. 221.
8. C. Reichardt Solvents and Solvent Effects in Organic Chemistry, Third Edition. Weinheim, 2003. P. 646.
9. Billing R., Rehorek D., Hennig H. // Topics in Current Chemistry. 1990. Vol. 158. P. 151.
10. Земский В. И., Колесников Ю. Л., Мешковский И. К. Физика и техника импульсных лазеров на красителях. СПб., 2005. С. 13.
11. Гордон А., Форд Р. Спутник химика. М., 1976.
12. Беккер Г. О. Введение в фотохимию органических соединений. Л., 1976.
13. Ищенко А. А. Строение и спектрально-люминесцентные свойства полиметиновых красителей. Киев, 1994.
14. Laia Cesar A. T., Costa Silvia M. B. // J. of Molecular Structure. 2001. Vol. 565-566. P. 83.
15. Berezin Y. M., Lee H., Akers W. et al. // Biophysical J. 2007. Vol. 93. P. 2892.
16. Низамов Н., Захидов У., Атоходжаев А. К. и др. // Журн. прикл. спектроскопии. 1982. Т. 36. № 3. С. 422.
17. Воропай Е. С., Самцов М. П. // Оптика и спектроскопия. 1987. Т. 62. С. 64.
18. Tatikolov A. S., Shvedova L. A., Derevyanko N. A. и др. // Chem. Phys. Lett. 1992. Vol. 190 № 3-4. P. 291.
19. Одинокоев А. В., Базилевский М. В., Петров Н. Х. и др. // Химия высоких энергий. 2010. Т. 44. № 5. С. 408.

Поступила в редакцию 30.11.12.

**Дмитрий Сергеевич Тарасов** – аспирант кафедры лазерной физики и спектроскопии. Научный руководитель – М. П. Самцов.

**Михаил Петрович Самцов** – доктор физико-математических наук, доцент, заведующий лабораторией спектроскопии НИИПФП им. А. Н. Севченко БГУ.

**Кирилл Николаевич Каплевский** – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры лазерной физики и спектроскопии.

**Людмила Сергеевна Ляшенко** – кандидат физико-математических наук, старший преподаватель кафедры автоматических систем безопасности ГУО КИИ МЧС РБ.

УДК 542.42,539.19

А. И. КОМЯК, Д. С. УМРЕЙКО, М. Р. ПОСЛЕДОВИЧ

## КОЛЕБАТЕЛЬНЫЕ СПЕКТРЫ МОНОУРАНАТОВ И ГИДРОКСИДОВ УРАНА, ПОЛУЧАЕМЫХ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ЩЕЛОЧЕЙ С НИТРАТОМ УРАНИЛА

Vibrational (IR absorption and Raman scattering) spectra for the reaction products of uranyl nitrate hexahydrate with NaOH and KOH have been studied. As a result of exchange reactions, the uranyl-ion coordinated nitrate groups are completely replaced by hydroxyl ions and various uranium and uranyl oxides or hydrates are formed.

An analysis of the vibrations has been performed in terms of the frequencies of a free or coordinated nitrate group; comparison with the vibrations of the well-known uranium oxides and of the uranyl group  $UO_2^{2+}$  has been carried out. Vibrational spectra of a free nitrate group are characterized by four vibrational frequencies 1050, 724, 850, and 1380  $cm^{-1}$ , among which the frequencies at 724 and 1380  $cm^{-1}$  are doubly degenerate and attributed to  $E'$  symmetry of the point group  $D_{3h}$ . When this group is uranium coordinated, its symmetry level is lowered to  $C_{2v}$ , all vibrations of this group being active both in Raman and IR spectra. The doubly degenerate vibrations are exhibited as two bands and a frequency of the out-of-plane vibration is lowered to 815  $cm^{-1}$ .

**Ключевые слова:** колебательная спектроскопия, спектры ИК-поглощения и комбинационного рассеяния, продукты реакции, окислы урана и уранила.

**Key words:** vibrational spectroscopy, infra-red absorption and Raman spectra, reaction products, uranium and uranyl oxides.

Уран в кислородных соединениях присутствует в различных формах окисления, начиная от трех и заканчивая шестью. Поэтому в природных или искусственных соединениях оксиды урана встречаются в виде  $UO_2$ ,  $U_2O_3$ ,  $U_3O_7$ ,  $U_3O_8$ ,  $UO_3$  [1–4].

Наиболее распространенным является шестивалентный оксид  $UO_3$ , присутствующий в различных полиморфных модификациях. В настоящее время их известно шесть. Исходная для всех указанных модификаций – гексагональная структура  $\alpha$ - $UO_3$ , изученная Захариазеном [5]. Измерения плотности  $\alpha$ - $UO_3$  давали всегда заниженные значения  $7,3 \cdot 10^3$   $kg/m^3$ , которые существенно отличались от величин  $8,4 \cdot 10^3$   $kg/m^3$ , вычисленных по размерам элементарной ячейки. Такое различие, вызванное наличием ка-

тионных и анионных вакансий, приводит к тому, что в структуру внедряются ионы кислорода  $O^{2-}$  либо гидроксильные группы  $OH^-$  с образованием коротких связей уран – кислород, подобных иону  $UO_2^{2+}$ .

Ураниловые соединения содержат линейную группу  $O=U=O$ , несущую двойной положительный заряд, с короткими связями  $U-O$  ( $0,17 \div 0,20$  нм) и экваториальную группировку с 4,5 или 6 атомами кислорода, образующими координационные полиэдры вокруг урана – тетра-, пента- или гексаби-призмы [6].

К гидратам  $\alpha-UO_3$  относятся  $UO_3 \cdot H_2O$  и  $UO_2 \cdot 2H_2O$ . Существует несколько модификаций моногидрата, который представляет собой структуру  $UO_2(OH)_2$ , и две модификации структуры  $UO_2(OH)_2 \cdot H_2O$ . Последняя структура образована слоями  $UO_2(OH)_2$ , между которыми находятся молекулы воды. Этот слой аналогичен слою в структуре  $\alpha-UO_3(OH)_2$  [3]. Измененный тип этой структуры ( $\beta$ -модификация) состоит из слоев октаэдрических полиэдров  $UO_2(OH)_2$ , связанных всеми четырьмя экваториальными группами  $OH^-$  с образованием сетчатого слоя. В модификации  $\alpha$ -структуры  $UO_2(OH)_2$  ион уранила окружен шестью ближайшими атомами кислорода группы  $OH$  в плоскости, почти перпендикулярной группе  $UO_2^{2+}$ .

В более сложных оксидах шестивалентного урана типа уранатов общей формулы  $M_2UO_4$ ,  $M_2U_2O_7$ ,  $M_2U_4O_{12}$ ,  $M_4U_5O_{17}$ , где  $M$  – одновалентный металл  $K$ ,  $Na$ ,  $Pb$  или  $Cs$ , одновременно реализуются октаэдрическая и пентагонально-бипирамидальная координации [7, 8], и во всех этих структурах встречается ураниловая группа  $UO_2^{2+}$ .

Авторами была сделана попытка получения моноуранатов калия и натрия шестивалентного урана или гидроксидов уранила путем осаждения из водных растворов ураниловой соли (нитрата уранила) с добавлением щелочи едкого калия и едкого натра. Анализ получаемых продуктов проводили по спектрам инфракрасного (ИК-поглощения) и комбинационного рассеяния (КР).

#### Методика получения образцов и регистрация спектров

Уранаты щелочных металлов получали по методике, описанной в [9], путем слияния раствора уранилнитрата и соответствующей щелочи (едкого калия и едкого натра). Мольное соотношение нитрата уранила и соответствующей щелочи изменялось от 2:1 до 1:3.

Спектры инфракрасного поглощения порошка, запрессованного в КВг-таблетки, регистрировались на фурье-спектрометре Vertex-70 фирмы Bruker. Для длинноволновой области порошкообразные образцы запрессовывались в полимерную пленку (область  $50 \div 400$   $cm^{-1}$ ).

Спектры комбинационного рассеяния регистрировались на двойном монохроматоре ДФС-52 при возбуждении второй гармоникой неодимового лазера. Спектры мелких кристаллов, запрессованных в капиллярную трубку, записывались при комнатной температуре.

#### Результаты и их обсуждение

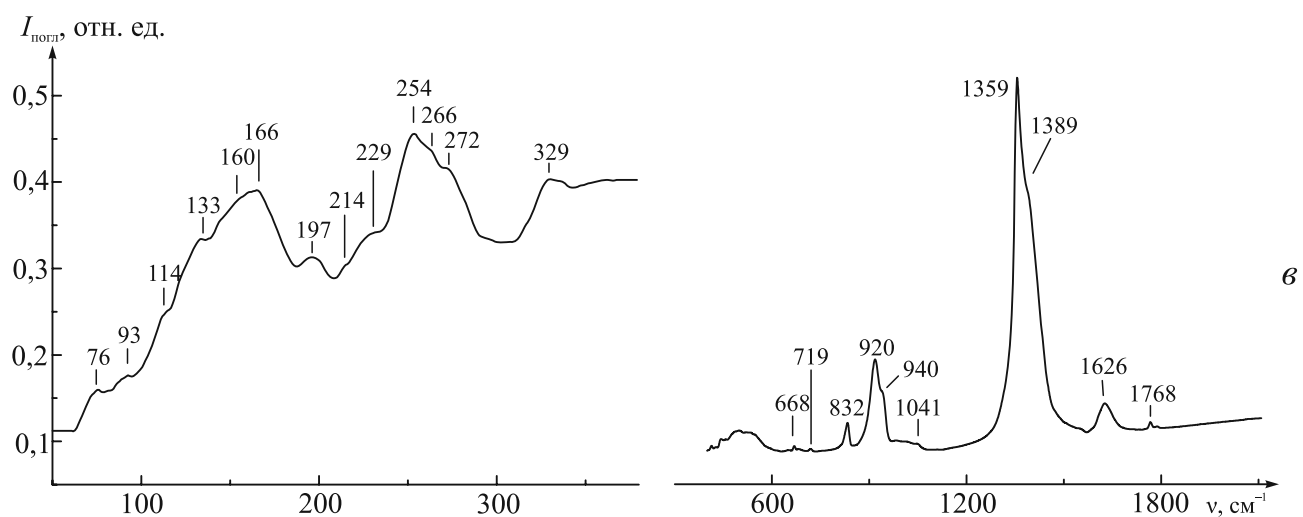
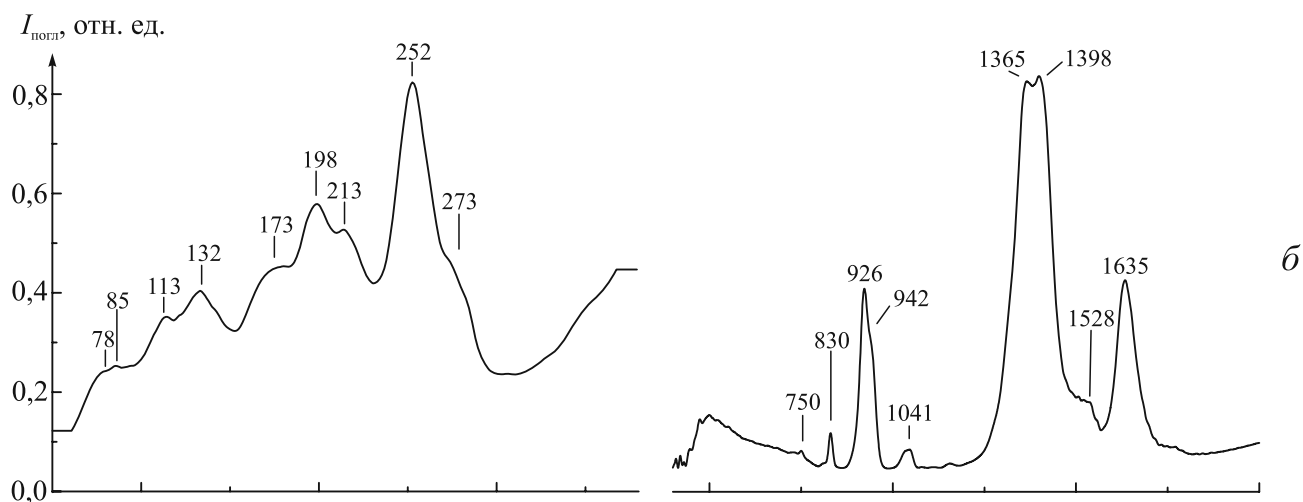
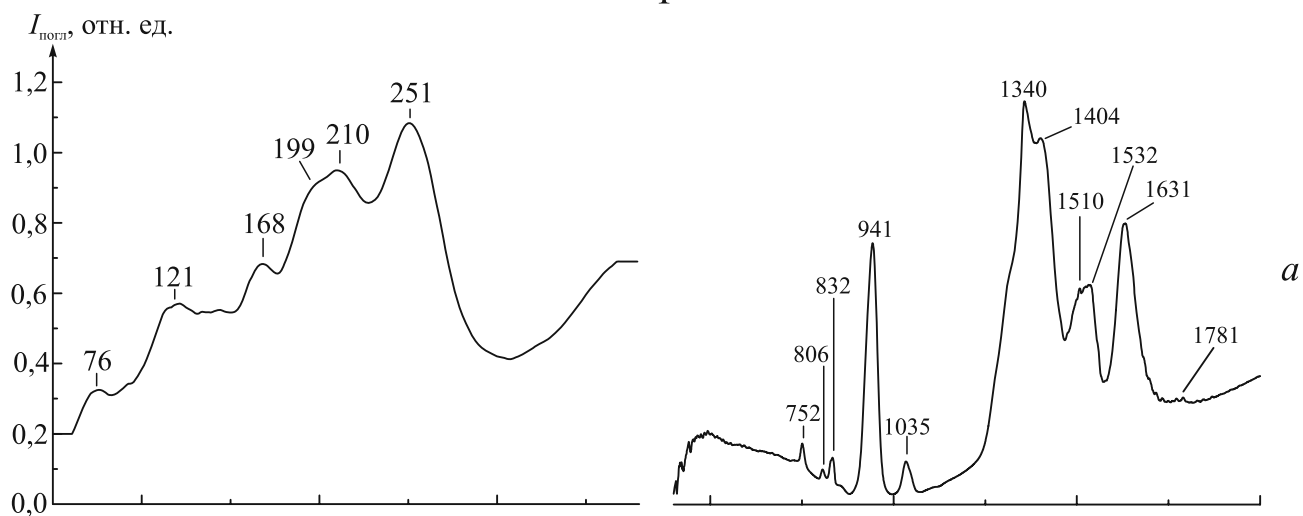
На рис. 1 (I) приведены ИК-спектры продуктов взаимодействия шестиводного нитрата уранила со щелочью КОН, левая часть относится к длинноволновой области, а правая – к средней ИК-области.

Мольное соотношение компонент соли и щелочи составляло 2:1, 1:1,5 и 1:3. В двух последних спектрах концентрация соли  $UO_2(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$  была одинаковой, а варьировалось только количество добавляемой щелочи.

ИК-спектр продуктов реакции на рис. 1 *a* сильно не изменился по отношению к нитрату уранила, для которого в рассматриваемой области характерны пять полос ( $75$ ,  $112$ ,  $165$ ,  $214$  и  $255$   $cm^{-1}$ ), за исключением  $121$  и  $210$   $cm^{-1}$ . Указанные изменения хорошо заметны на рис. 1 *б*, *в* (I), когда мольное соотношение реагентов возросло в пользу щелочи КОН. В ИК-спектре возникли дополнительные максимумы  $113$ ,  $132$ ,  $173$ ,  $198$  и  $273$   $cm^{-1}$ , которые отсутствовали в спектре на рис. 1 *a*, что свидетельствует о присоединении к иону уранила новых кислородных групп, отсутствовавших в нитрате уранила. По всей вероятности, это могут быть гидроксильные группы  $OH^-$ , которых в растворе вполне достаточно, чтобы вытеснить нитратные группы из координационной сферы иона уранила. Полоса  $250$   $cm^{-1}$ , которая обычно относится к деформационным колебаниям иона уранила, в продуктах взаимодействия незначительно уширилась и сместилась на  $3-4$   $cm^{-1}$  в коротковолновую область. При анализе последующего спектра указанные изменения начинают усиливаться, а в высокочастотной области появляются новые полосы  $272$  и  $329$   $cm^{-1}$  (рис. 1 *в* (I)), принадлежащие новому продукту – одному из уранатов типа  $K_2UO_4$  и  $K_2U_2O_7$ .

ИК-спектры продуктов с натриевой щелочью сильно не отличаются от ранее рассмотренных, за исключением некоторых деталей. Спектр II на рис. 1 *a* незначительно отличается от спектра I, но у

I



II

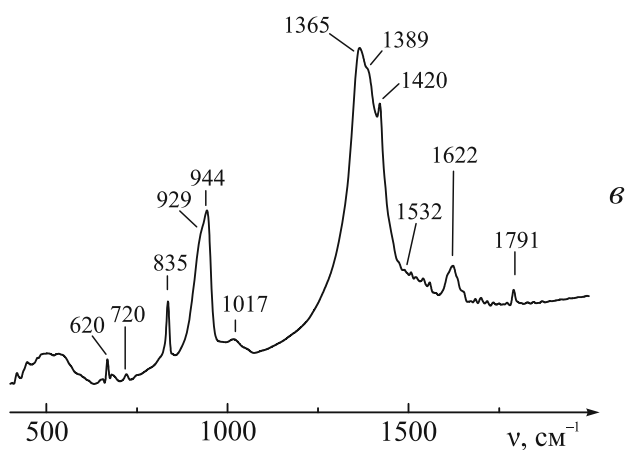
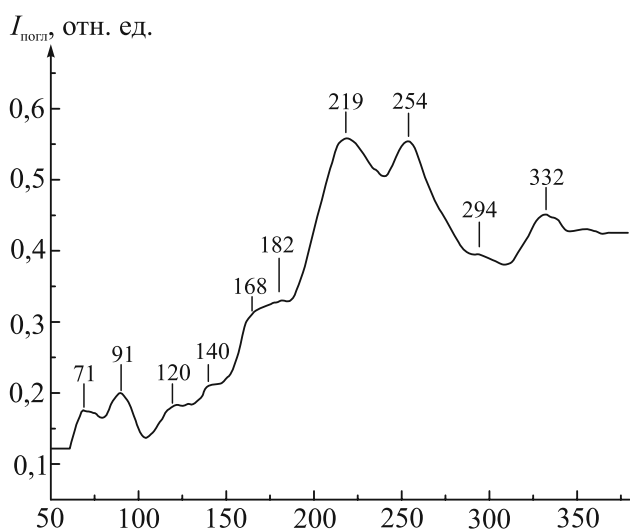
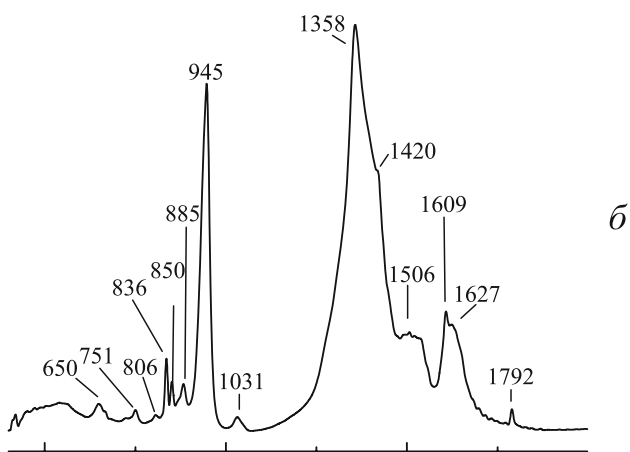
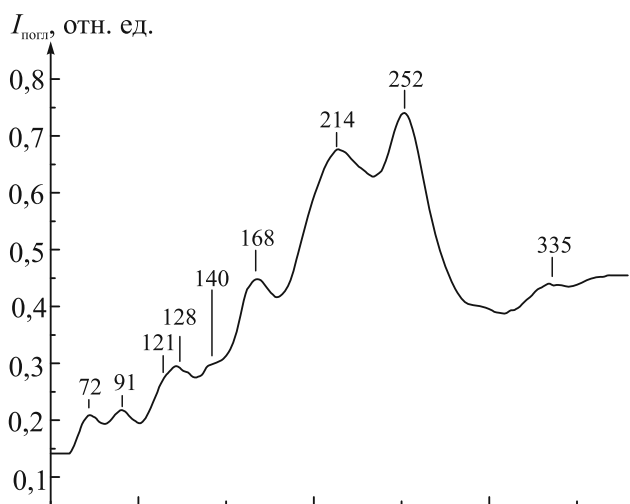
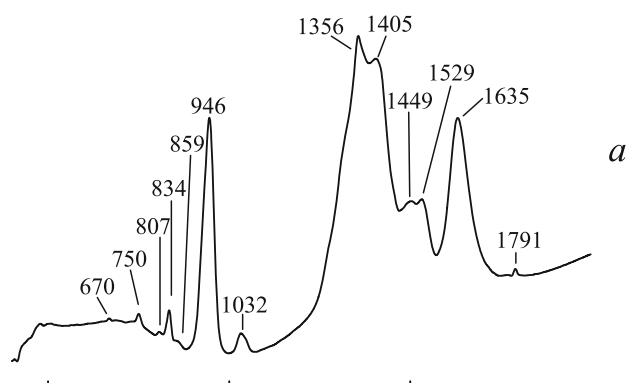
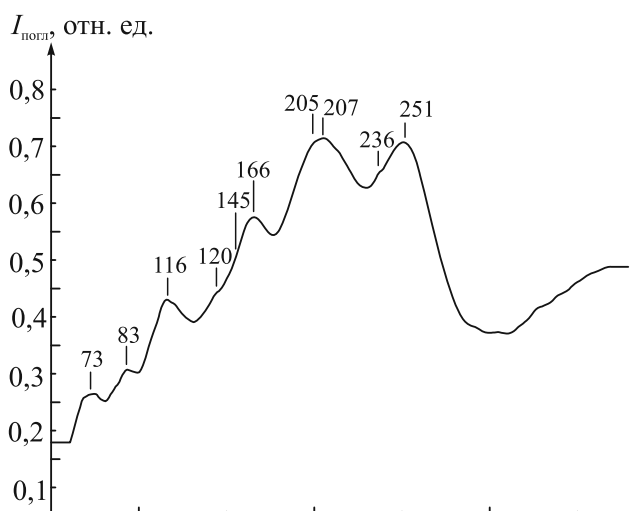


Рис. 1. Инфракрасные спектры продуктов взаимодействия  $UO_2(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$  со щелочью KOH (I) и со щелочью NaOH (II) при различном мольном соотношении компонент 2:1 (а), 1:1,5 (б) и 1:3 (в) в длинноволновой и средневолновой области спектров

спектров с большим мольным соотношением различия существеннее. В спектре II на рис. 1 *в* наиболее интенсивна полоса  $219\text{ см}^{-1}$ , а в спектре I – полоса  $254\text{ см}^{-1}$ . Более заметны полосы в коротковолновых областях  $294$  и  $332\text{ см}^{-1}$ , которые принадлежат уранату типа  $\text{Na}_2\text{UO}_4$  или  $\text{Na}_2\text{U}_2\text{O}_7$  соответственно. Они имеют более высокие значения частот по отношению к аналогичному уранату  $\text{K}_2\text{UO}_2\text{O}_7$  за счет меньшего значения катионного радиуса Na по сравнению с K.

Чтобы выяснить, какие группы присоединяются к атому урана при замещении его координационной сферы, наиболее целесообразно анализировать спектр продуктов в средней ИК-области ( $500\div 1700\text{ см}^{-1}$ ) и сравнивать его со спектрами чистого нитрата уранила. Принадлежность групп  $\text{NO}_3^-$ , координированных к иону уранила, будем определять из ИК-спектра нитрата по значениям частот колебаний нитратной группы.

Свободная группа  $\text{NO}_3^-$  относится к типу симметрии  $D_{3h}$  и в ИК-спектре характеризуется колебаниями  $1050, 724, 850, 1380\text{ см}^{-1}$ , из которых  $724$  и  $1380\text{ см}^{-1}$  дважды вырождены и относятся к типу симметрии  $E'$ . При координации нитратной группы ее симметрия понижается до  $C_{2v}$  и все колебания становятся активными в ИК-спектре. Причем дважды вырожденное колебание в области  $1380\text{ см}^{-1}$  расщепляется на две компоненты с величиной расщепления  $210\div 220\text{ см}^{-1}$ . Полосы этих колебаний довольно интенсивны и обнаруживаются в области  $1300\div 1520\text{ см}^{-1}$  [6].

В ИК-спектре активно внеплоскостное колебание  $850\text{ см}^{-1}$ . Если группа  $\text{NO}_3^-$  координирована двумя атомами кислорода к иону уранила, то указанная частота смещается в длинноволновую область примерно на  $30\text{ см}^{-1}$ , поэтому при анализе спектра в области  $820\text{ см}^{-1}$  легко отличить свободную нитратную группу от координированной. По наличию числа частот в области  $1500\text{ см}^{-1}$  также можно выяснить, в каком состоянии находится нитратная группа – свободном или координированном.

Например, если нитратная группа находится в свободном состоянии, то в области  $1380\text{ см}^{-1}$  наблюдается одна активная полоса или две слаборасщепленные полосы  $1356$  и  $1405\text{ см}^{-1}$ , которые демонстрируют снятие вырождения для колебания симметрии  $E'$  в силу неодинакового окружения этих групп молекулами растворителя. Область симметричных колебаний ( $1030\text{ см}^{-1}$ ) не очень характерна ввиду их слабой интенсивности в ИК-спектрах. То же относится и к области деформационных колебаний нитратной группы ( $720\div 740\text{ см}^{-1}$ ). Если проанализировать ИК-спектры (рис. 1 *а*), то можно обнаружить, что нитратные группы в продуктах, образующихся при слиянии раствора нитрата уранила и щелочи в соответствующих пропорциях, могут быть как ионного, так и координированного типов. В спектре (I, II) на рис. 1 *а* выявлены нитратные группы как связанные с центром координации, так и свободные. Это касается промежутка  $810\div 830\text{ см}^{-1}$  и области асимметричных валентных колебаний  $1300\div 1500\text{ см}^{-1}$ . В спектре на рис. 1 *а* (I) присутствуют группы  $\text{NO}_3^-$  двойного типа. В области  $800\text{ см}^{-1}$  две полосы –  $806$  и  $832\text{ см}^{-1}$ : первая относится к координированной нитратной группе, вторая – к свободной или слабо связанной с катионом. В области антисимметричных колебаний наблюдаются широкие полосы –  $1340$  и  $1532\text{ см}^{-1}$ , свидетельствующие о расщеплении дважды вырожденных колебаний нитратной группы (типа  $E'$ ) на две компоненты с величиной расщепления около  $200\text{ см}^{-1}$ . Правда, эти полосы в спектре не элементарны, а состоят из двух близких компонент:  $1340$  и  $1404\text{ см}^{-1}$  или  $1510$  и  $1532\text{ см}^{-1}$ . Последнее удвоение полос может быть следствием неэквивалентного расположения нитратных групп по отношению к центру координации. При продвижении в область больших концентраций щелочи КОН координированные нитратные группы исчезают, а остаются только группы ионного типа [10] (рис. 1 *б, в* (I)).

Например, в ИК-спектре на рис. 1 *в* (I) исчезла полоса  $805\text{ см}^{-1}$ , присутствует только полоса  $832\text{ см}^{-1}$ , относящаяся к ионной нитратной группе, а область антисимметричного валентного колебания характеризуется одной широкой полосой  $1350\text{ см}^{-1}$ . Следует отметить еще одну особенность – это области  $660$  и  $720\text{ см}^{-1}$ , в которых расположены частоты колебаний отмеченных ранее оксидов урана. Интенсивность их полос увеличивается с добавлением щелочи.

Таким образом, при реакциях со щелочами происходит полное вытеснение нитратных групп из координационной сферы иона уранила. Нитратные группы замещаются ионами гидроксида с получением продуктов  $\text{UO}_2(\text{OH})_2$ . Частично эти группы остаются в осадке, по-видимому, в виде нитратных солей калия [11] или в качестве примесей с образованием продукта типа  $\text{UO}_2(\text{OH})_2\text{NO}_3$ , который был обнаружен также и в [9].

На рис. 1 (II) представлены ИК-спектры продуктов взаимодействия нитрата уранила с натриевой щелочью. Реакция происходит по тому же типу, что и с калиевой щелочью, если не считать некоторых

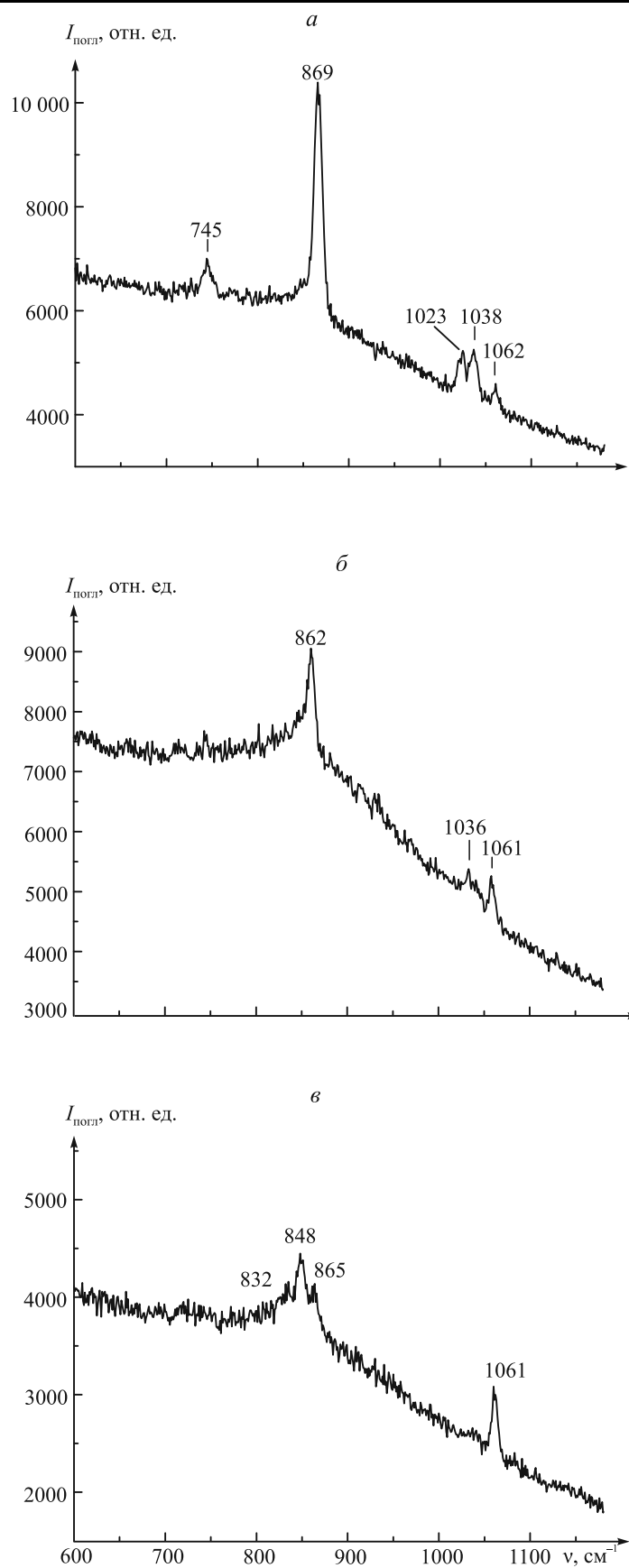


Рис. 2. КР-спектры продуктов взаимодействия шестиводного нитрата уранила со щелочью NaOH: соотношение мольных компонент  $a - 2:1$ ,  $b - 1:1,5$ ,  $c - 1:3$

деталей спектра, которые характеризуются более четким образованием продуктов различных оксидов урана для области ИК-спектра  $270\div 600\text{ см}^{-1}$ .

Что касается группы  $\text{UO}_2^{2+}$ , то она имеет частоты колебаний  $\nu_1$ ,  $\nu_2$  и  $\nu_3$ , причем первое колебание активно в КР-спектре, а два других – в ИК-спектре. Деформационное колебание  $\nu_2$  обнаруживается в области  $250\text{ см}^{-1}$ , а полоса антисимметричного колебания  $\nu_3$  довольно интенсивна в области  $920\div 980\text{ см}^{-1}$ . Если обратиться к ИК-спектрам поглощения на рис. 1 (I), то можно обнаружить, что с участием калиевой щелочи частота колебаний  $940\text{ см}^{-1}$  остается практически во всех спектрах, но интенсивность ее заметно уменьшается с увеличением концентрации КОН. Однако в спектре последнего образца появляется интенсивная полоса  $920\text{ см}^{-1}$ , которая принадлежит другому продукту, так как окружение иона уранила изменилось. Следует считать, что это изменение вызвано гидроксильными группами и предполагаемый комплекс может иметь состав  $\text{UO}_2(\text{OH})_2$ . Аналогичная картина наблюдается в продуктах с натриевой щелочью: различаются только начальные и конечные значения частот. При малом добавлении щелочи обнаруживается частота  $946\text{ см}^{-1}$ , а с увеличением концентрации щелочи появляются новые полосы. Уже при добавлении щелочи в соотношении 1:1,5 (см. рис. 1 в (II)) в спектре обнаруживается одна довольно узкая полоса  $945\text{ см}^{-1}$ , а также заметны полосы  $850$  и  $835\text{ см}^{-1}$ , которые могут принадлежать одному из гидроксидов уранила. В последнем спектре присутствуют уже две полосы –  $929$  и  $944\text{ см}^{-1}$ , свидетельствующие об образовании двух разных продуктов. Это подтверждается и появлением новых полос ( $620$  и  $720\text{ см}^{-1}$ ), которые принадлежат [12] уранатам типа  $\text{Na}_2\text{UO}_4$  или  $\text{Na}_2\text{U}_2\text{O}_7$ .

В КР-спектре (спектры КР не приведены) отчетливо обнаруживаются колебания ураниловой группы  $\text{UO}_2^{2+}$  с частотой  $866\text{ см}^{-1}$  и колебания нитратной группы  $737$ ,  $1020$  и  $1036\text{ см}^{-1}$ , соответствующие координированной нитратной группе [13], т. е. легко видеть, что комплекс  $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2\cdot 6\text{H}_2\text{O}$  сохраняется. Но с увеличением концентрации щелочи КОН частота  $866\text{ см}^{-1}$  уменьшается и при большом избытке щелочи почти исчезает, а вместо нее появляется новая полоса  $849\text{ см}^{-1}$ . Нитратные группы из координированного состояния переходят в свободное ионное состояние [14] с частотами  $744$  и  $1044\text{ см}^{-1}$ . При этом могут получаться соединения  $\text{UO}_2(\text{OH})_2\text{NO}_3$  или  $\text{KNO}_3$ .

Проследивая спектры КР с участием щелочи NaOH (рис. 2), можно сделать аналогичное заключение. В спектре на рис. 2 а видны и колебания уранила  $\text{UO}_2^{2+}$  ( $869\text{ см}^{-1}$ ), и колебания нитратной группы  $745$ ,  $1023$ ,  $1036$  и  $1062\text{ см}^{-1}$ . Однако в последнем случае колебание малоинтенсивное. Это свидетельствует о том, что даже при мольном соотношении нитрата уранила и щелочи NaOH 2:1 уже начинают появляться группы  $\text{NO}_3^-$  ионного типа. Наконец, в последнем спектре мы обнаруживаем слабоинтенсивную полосу  $865\text{ см}^{-1}$  и рядом с ней – полосу  $848\text{ см}^{-1}$ , принадлежащую иону уранила  $\text{UO}_2^{2+}$ , но с другим координационным окружением. Частота нитратной группы ( $1061\text{ см}^{-1}$ ) соответствует ее ионному характеру. Понижение частот ураниловой группы свидетельствует о том, что окружающие лиганды имеют более высокие донорные числа, чем группа  $\text{NO}_3^-$ .

Таким образом, КР-спектры также подтверждают ранее высказанную мысль, что в процессе химических реакций  $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2\cdot 6\text{H}_2\text{O}$  с едкими щелочами одновалентных металлов получают различные продукты, которые отсутствовали в реагентах, вступающих в реакцию.

\* \* \*

Как показал анализ ИК-спектров поглощения и КР-продуктов шестиводного нитрата уранила со щелочами едкого калия и едкого натра, в результате реакции образуются новые продукты типа  $\text{UO}_2(\text{OH})_2\text{NO}_3$ ,  $\text{UO}_2(\text{OH})_2$ ,  $\text{NaNO}_3$ ,  $\text{KNO}_3$  и в небольших количествах – уранаты натрия и калия типа  $\text{M}_2\text{UO}_4$ ,  $\text{M}_2\text{U}_2\text{O}_7$ , где  $\text{M} = \text{K}, \text{Na}$ . Не исключено и появление более сложных уранатов типа  $\text{M}_2\text{U}_4\text{O}_{12}$  и  $\text{M}_4\text{U}_5\text{O}_{17}$ .

1. Сидоренко Г. А. Кристаллохимия минералов урана. М., 1978.
2. Власов В. Г., Жуковский В. М., Ткаченко Е. В., Бекетов А. Р. Кислородные соединения урана. М., 1972.
3. Taylor J. C., Hurst H. J. // Acta Cryst. 1971. Vol. 1327. P. 2018.
4. Liegevis-Duyckaerts M. // Spectr. Acta. 1977. Vol. 33A. P. 709.
5. Zachariasen W. H. // Acta Cryst. 1948. Vol. 1. P. 265.
6. Володько Л. В., Комяк А. И., Умрейко Д. С. Ураниловые соединения (строение и спектры). Минск, 1981.
7. Berghe S. V., Laval J. P., Verwerft M. et al. // J. Sol. State Scien. 2002. Vol. 166. № 8. P. 1.

8. Berghe S. V., Laval J. P., Verwerft M. et al. // Ibid. Vol. 4. P. 1857.  
 9. Спицын В. И., Ипполитова Е. А. // Исследования в области химии урана. М., 1961. С. 57.  
 10. Rousseau D. L., Miller R. E., Leroi G. E. // J. Chem. Phys. 1967. Vol. 48. № 8. P. 3409.  
 11. Jautes D. W., Leong W. H. // J. Chem. Phys. 1968. Vol. 49. № 11. P. 5089.  
 12. Khulbe P. K., Agarwal A., Raghuvanshi G. S. // J. Rat. Spectr. 1989. Vol. 20. P. 283.  
 13. Brooker M. H. // J. Chem. Phys. 1970. Vol. 53. № 7. P. 2670.

Поступила в редакцию 26.11.12.

**Анатолий Иванович Комяк** – доктор физико-математических наук, профессор кафедры лазерной физики и спектроскопии.

**Дмитрий Степанович Умрейко** – доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник НИИПФП им. А. Н. Севченко БГУ.

**Михаил Романович Последович** – кандидат физико-математических наук, доцент, ведущий инженер кафедры физической оптики.

УДК 533.9.082.5:621.373.826:621.793.79

ЧИНЬ НГОК ХОАНГ (ВЬЕТНАМ), М. П. ПАТАПОВИЧ, ФАМ УИЕН ТХИ (ВЬЕТНАМ),  
 И. Д. ПАШКОВСКАЯ, Ж. И. БУЛОЙЧИК, А. П. ЗАЖОГИН

## ВЛИЯНИЕ ГИДРОКСИДОВ К И Na НА ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ Ca, Mg и Al В ВЫСОХШИХ КАПЛЯХ БЕЛКА МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОЙ АТОМНО-ЭМИССИОННОЙ СПЕКТРОМЕТРИИ

The effect of potassium and sodium hydrates on the spatial distribution of calcium, magnesium, and aluminum when the drops of aqueous solution of egg albumin are drying on the surface of a porous body (paper filter) has been studied using the multichannel atomic-emission laser spectrometry. It has been shown that previous coating of the substrate with albumin and potassium or sodium hydrates leads to a considerable decrease in the cationic motion of aluminum, calcium, and magnesium to the periphery on drying of the biologic liquid and to its reduced size. Varying the composition of hydroxides and the solution application procedure, one can reduce significantly the drop diameter thus improving the analytical sensitivity. At the same time, the possibility of competing reactions associated with reformation of more soluble metal compounds should be taken into consideration.

*Ключевые слова:* приповерхностная лазерная плазма, лазерная искровая спектроскопия, двоянные лазерные импульсы, кальций, магний, алюминий, гидроксиды калия и натрия.

*Key words:* surface laser-produced plasma, laser spark spectrometry, double laser pulses, pulsed laser-induced evaporation, calcium, magnesium, aluminum, potassium and sodium hydrates.

В последние десятилетия внимание исследователей привлекли процессы, протекающие при испарении с твердой горизонтальной подложки капля жидкости и их высыхании. Изучение этих процессов связано как с чисто научным интересом, так и с многочисленными приложениями, поскольку наблюдаемые процессы образования структур важны при проведении медицинской диагностики, высокопроизводительном тестировании лекарственных средств, решении задач биосохранения, для растягивания ДНК и РНК, при производстве полимерных пленок наноструктур, создании структурированных поверхностей микро- и наномасштабов и др. [1–3].

В частности, внимание медиков привлекают изменения конформации и других физико-химических свойств белков, связанные с развитием патологических процессов в организме [1, 2].

Одним из белков, легко подвергающихся модификациям, является альбумин, составляющий около половины массы белков плазмы крови и присутствующий во всех жидкостях организма. В составе межклеточной жидкости альбумин взаимодействует почти со всеми клетками и в процессе циркуляции изменяется в зависимости от состояния органов и тканей. Изменения альбуминовых центров были обнаружены при самых разных заболеваниях [1], причем степень такого изменения отражает состояние больных, а молекула альбумина является участником и/или индикатором этого процесса [2].

Интерес к этим объектам обусловлен также тем, что в последние годы в медицинской диагностике нашел применение метод клиновидной дегидратации [3, 4]. Данный метод на основании анализа структур, образовавшихся при высыхании капли биологической жидкости (плазмы крови, спинно-мозговой жидкости, слюны и т. д.), позволяет выявлять широкий спектр различных заболеваний человека на доклинической стадии. Правда, физико-химические причины возникновения этих структур на сегодняшний день еще не выяснены, проблема требует изучения, хотя установленные эмпирические закономерности уже дают возможность оценить состояние организма и активно используются в медицинской практике [3, 5, 6].