

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА

3743/82

9/8-82

6-82-307

Нгуен Конг Чанг, А.Ф.Новгородов, М.Каскевич,  
А.Колачковски, В.А.Халкин

ИССЛЕДОВАНИЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО  
ХЛОРИРОВАНИЯ УЛЬТРАМИКРОКОЛИЧЕСТВ  
РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ  
И ТЕРМОХРОМАТОГРАФИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ  
ИХ ТРИХЛОРИДОВ

Направлено в журнал "Радиохимия"

1982

Метод газовой термохроматографии /ГТХ/ в настоящее время довольно широко используется в радиохимической практике<sup>/1-7/</sup>. Наиболее успешно он применялся для разделения летучих соединений, значительно отличающихся по теплотам адсорбции ( $\Delta H_a^\circ$ )<sup>/8/</sup>. Из проведенных ранее<sup>/9/</sup> теоретических рассмотрений следовало, что при оптимальных условиях селективность метода ГТХ можно существенно увеличить. Разделительная способность метода ГТХ характеризуется критерием разделения двух веществ:

$$R_{1,2} = \frac{T_{a1} - T_{a2}}{2(\sigma_1 + \sigma_2)}, \quad /1/$$

где  $T_{a1}$  и  $T_{a2}$  - температуры центров тяжести адсорбции веществ 1 и 2 в термохроматографической колонке /ТХК/;  $\sigma_1$  и  $\sigma_2$  - стандартные отклонения их распределений в колонке. Уравнение дисперсии для распределения вещества в ГТХ имеет следующий вид:

$$\sigma^2 = \frac{R\sqrt{T_a} [a \cdot T_a (3T_a - T_H) + b(T_a + T_H)]}{4 \cdot g \cdot \Delta H_a}, \quad /2/$$

где

$$a = \frac{\pi D_{\text{газ}}^\circ d^2}{2 V_0 \sqrt{T_0}} \quad \text{и} \quad b = \frac{V_0 \sqrt{T_0}}{24 \pi D_{\text{газ}}^\circ};$$

$R$  - газовая постоянная /кал.моль.<sup>-1</sup> К<sup>-1</sup> /;  $T_H$  - стартовая температура /К/;  $g$  - градиент температуры в ТХК /К.см<sup>-1</sup> /;  $\Delta H_a^\circ$  - энтальпия адсорбций /кал.моль<sup>-1</sup> /;  $D_{\text{газ}}^\circ$  - коэффициент диффузии вещества в газе-носителе или в газе-реагенте /см<sup>2</sup> с<sup>-1</sup> / при стандартных условиях / $T_0 = 298,15$  К и  $p = 1$  атм/;  $d$  - диаметр ТХК /см/;  $V_0$  - объемная скорость газа-носителя или газа-реагента при стандартных условиях /см<sup>3</sup>.с<sup>-1</sup> /.

Оптимальная скорость газа-носителя  $V_0$  (опт) определяется по уравнению Ван-Димтера<sup>/10/</sup>:

$$V_0 (\text{опт}) = \pi D_{\text{газ}}^\circ d \sqrt{\frac{6(T_H + T_a)}{T_0}}. \quad /3/$$

Согласно оценке, сделанной на основании данных о корреляции  $T_a$  для микроколичеств и энтальпий сублимации макроколичеств хлоридов многих элементов<sup>/11-13/</sup>, трихлориды La, Gd и Lu

должны адсорбироваться в кварцевой ТХК в зонах с  $T_a$ , равными 1060, 1020 и 915 К соответственно. Экспериментально определенное  $\Delta T_a$  для трихлоридов La и Lu /11,12,14-17/ хорошо совпадало с такой оценкой и составляло 150-200 К. При мгновенном вводе вещества в колонку стандартное отклонение его распределения ( $\sigma$ ) в зоне адсорбции для ТХК диаметром  $d = 1$  мм,  $T_{II} = 1373$  К,  $D_{газ}^0 = 0,1$  см<sup>2</sup>·с<sup>-1</sup> и  $\Delta H_a = 57$  кал·моль<sup>-1</sup>,  $T_a = 1113$  К /последние два значения относятся к  $LaCl_3$  /12/ / будет равно 2,5 К. Следовательно, если  $\Delta T_a = 10-15$  К, имеем  $R = 1 \div 1,5$ , что указывает на возможность разделения соседних редкоземельных элементов /РЗ/.

В настоящей работе предпринята попытка осуществить ГТХ-разделения смеси трихлоридов всех лантанидов. В литературе ранее сообщалось о разделении этим методом только двух пар соседних элементов La-Ce /14,16/ и Nd-Pm /18/.

С целью оптимизации ГТХ-разделения редкоземельных элементов мы исследовали влияние стартовой температуры ( $T_{II}$ ), состава и расхода различных хлорирующих газов-реагентов на процесс термохроматографирования, причем в соответствии с выводами работы /9/ мы полагали, что селективность метода будет наибольшей, если:

а/ при хлорировании образцов будет образовываться лишь одно соединение РЗ, а именно: трихлорид, не превращающийся в ТХК в какое-либо другое летучее или тем более нелетучее соединение;

б/ поверхность ТХК будет как можно более чистой и однородной;

в/ хлорирование образцов и улетучивание трихлоридов будет происходить настолько быстро, что профиль ввода пробы в ТХК будет приближаться в  $\delta$ -функции;

г/ расход газа-реагента будет оптимальным и, следовательно, будет минимальной высота, эквивалентная теоретической тарелке.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Исследование проводилось с радиоактивными изотопами РЗ: <sup>140</sup>La, <sup>144</sup>Ce, <sup>147</sup>Nd, <sup>153</sup>Sm, <sup>156</sup>Eu, <sup>151, 153</sup>Gd, <sup>169</sup>Yb и <sup>172</sup>Lu, которые очищались на хроматографической колонке, заполненной катионитом, с помощью растворов  $\alpha$ -оксиизобутирата аммония. Затем их переводили на катионообменной колонке малого объема в хлоридную форму. Солянокислые растворы лантанидов упаривали в микропробирках /  $\phi = 2$  мм,  $l = 10$  мм/ под инфракрасной лампой и осадки сушили при  $520 \pm 10$  К в вакууме.

Большинство экспериментов было выполнено с лантаном-140 /  $T_{1/2} = 40$  часов/. Выбор элемента определялся прежде всего тем, что у лантана значительно выше, чем у других РЗ, энергия

связи с кислородом, тогда как энергия связи с хлором практически такая же, как и у других лантанидов /13,19,20/. Следовательно, примеси кислорода и воды в газах-реагентах должны наиболее заметно влиять на его поведение в процессах хлорирования и термохроматографирования. Очевидно, что если найдены условия, в которых получаются хорошо воспроизводимые результаты с  $LaCl_3$ , то они полностью подходят и для экспериментов с другими лантанидами. Кроме того, <sup>140</sup>La удобно получать генераторным методом, используя <sup>140</sup>Ba /  $T_{1/2} = 12,8$  дня/.

На рис.1 показана схема экспериментальной установки. Газами-реагентами служили хлористый водород и хлор. Они получались в результате взаимодействия концентрированной соляной кислоты /1/ с  $H_2SO_4$  и  $KMnO_4$  /2/ соответственно. Водород, который добавляли к HCl, получали электролизом раствора KOH /9/. Азот /99,99%/ и кислород /99,98%/ были техническими и отбирались из баллонов /6 и 19/.

Все газы перед подачей в ГТХ-колонку тщательно сушили. Для этого HCl пропускали сначала через серную кислоту /3/, а затем через трубку, заполненную молибденовой жестью или проволокой и нагретую до  $670 \pm 10$  К электропечью /4/. Следы присутствовавших в HCl влаги и кислорода связывались, образуя с молибденом оксихлориды, которые удалялись из газового потока в ловушке /5/, заполненной кварцевой ватой. Расход газа измерялся реометром /7/. В смесителе /8/ при необходимости HCl мог смешиваться с каким-либо другим газом. При использовании хлора в качестве газа-реагента его сушили только серной кислотой.

Водород очищали от основных количеств воды в трубке /10/, заполненной гранулированной KOH. Остатки влаги вымораживались в ловушках /11-13/ при 77 К. Ловушки соединялись нагретыми до 600 К трубками /14 и 15/, заполненными активированным медью силикагелем. Образующаяся из следов кислорода над этим катализатором вода вымораживалась. Для окончательной очистки водород проходил через серную кислоту /17/ и азотную ловушку /18/. После измерения реометром /20/ расхода  $H_2$  его подавали в смеситель /8/.

При работе со смесями  $HCl + O_2$  или  $Cl_2 + O_2$  кислород из баллона /19/ поступал через систему, состоящую из редуктора и вентиля, в реометр /20/ и далее в смеситель /8/. Для приготовления  $Cl_2 + C_2Cl_6$  или  $N_2 + SOCl_2$  хлорирующие агенты  $C_2Cl_6$  или  $SOCl_2$  помещались в смеситель /8'/, в котором происходило насыщение или хлора или, соответственно, азота.

ТХК представляла собой кварцевую трубку с внутренним диаметром 1,25 мм и длиной 650 мм, к которой со стороны ввода образца была припаяна кварцевая трубка с внутренним диаметром 4 мм и длиной 200 мм. Для очистки ТХК выдерживали в течение суток в концентрированной  $HNO_3$ , затем тщательно промывали

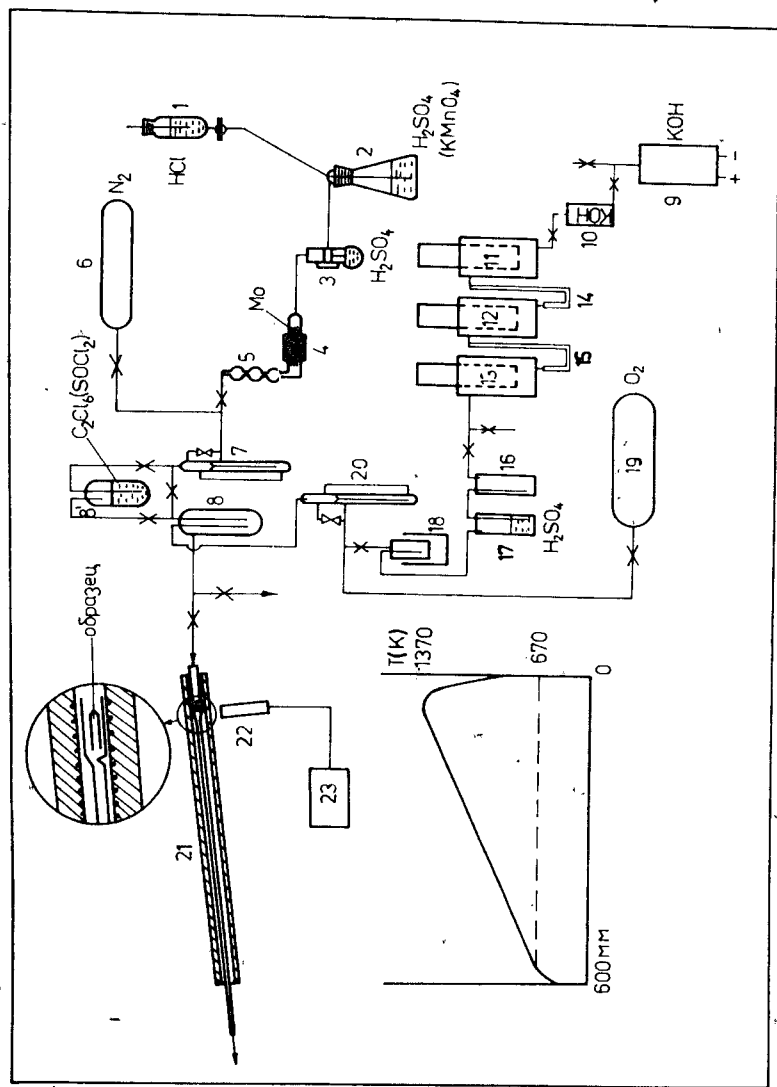


Рис.1: Схема экспериментальной установки для исследования газотермохроматографического поведения трихлоридов лантанидов в открытой кварцевой колонке в потоке различных газов-реагентов.

дистиллированной водой, этиловым спиртом и, наконец, сушили при  $520 \pm 10$  K в вакууме. ТХК вставлялась в электропечь /21/, где поддерживалась температура в диапазоне 670–1370 K. Для получения постоянного температурного градиента обмотка электропечи длиной 600 мм выполнялась нихромовой проволокой с переменным шагом витков.

Перед опытом печь с введенной в нее ТХК устанавливалась горизонтально, микропробирка с образцом вводилась в участок колонки, находящийся вне печи, и через ТХК в течение 20–30 мин для удаления воздуха пропускали газ-реагент. Затем для получения однородной поверхности кварцевую колонку равномерно протягивали, не прекращая пропускания газа-реагента, через зону максимальной температуры со скоростью 0,3 мм/с, после чего она возвращалась в исходное положение. Быстрым наклоном печи микропробирка вводилась в зону максимальной температуры, где она задерживалась специально сделанным уступом /рис.1/. С помощью датчика /22/ /сцинтилляционный счетчик с кристаллом Na(Tl)J / по спаду активности, который регистрировался на пересчетном, печатающем или записывающем устройствах /23/, определялась скорость улетучивания лантанидов. После опыта ТХК извлекалась из печи со стороны низких температур и разрезалась на части длиной по 5–10 мм, активность которых измеряли сцинтилляционным или полупроводниковым детекторами.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

### 1. Хлорирование и испарение ультрамикрочастиц хлоридов РЗЭ

Ультрамикрочастицы хлоридов лантанидов улетучивались в потоке HCl тем быстрее, чем выше была температура процесса /рис.2/. При  $T_H = 1370 \pm 10$  K за 120 с переходило в газовую фазу более 95% изучаемых элементов. Результаты, практически аналогичные показанным на рис.2, были получены при использовании в качестве газов-реагентов хлора, насыщенного парами  $CCl_4$ ,  $C_2Cl_6$ , и азота, насыщенного  $SOCl_2$ . Скорость процесса замедлялась, если хлорирование проводилось смесью 30% HCl + 70%  $N_2$ : при  $1370 \pm 10$  K за 300 с улетучивалось немногим более 90% хлоридов лантанидов. Максимальная температура хлорирования в наших опытах ограничивалась температурой размягчения кварца.

Скорость улетучивания ультрамикрочастиц РЗЭ резко падала, если в газ-реагент был кислород /рис.3/. Очевидно, это связано с процессами, приводившими к образованию нелетучих окислов и трудно летучих оксихлоридов.

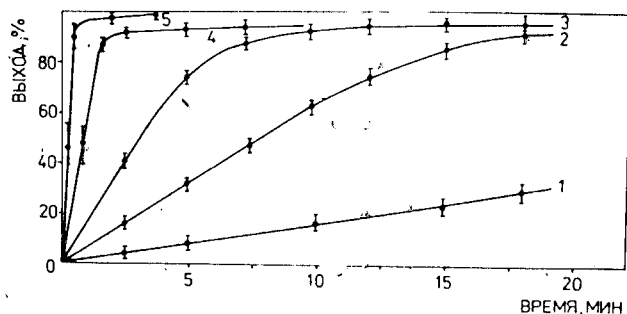


Рис.2. Зависимости скоростей хлорирования и улетучивания  $^{140}\text{La}$  в потоке  $\text{HCl}$ ,  $20 \text{ см}^3/\text{мин}$ , от температуры: 1/  $980 \text{ K}$ ; 2/  $1070 \text{ K}$ ; 3/  $1170 \text{ K}$ ; 4/  $1270 \text{ K}$ ; 5/  $1370 \text{ K}$ .

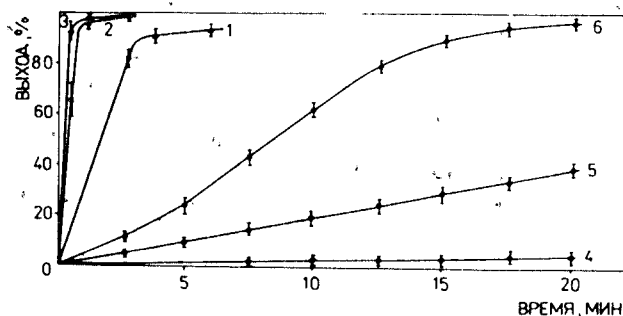


Рис.3. Зависимости скоростей хлорирования и улетучивания  $^{140}\text{La}$  при  $1370 \text{ K}$  от скорости потока  $\text{HCl}$  и от содержания кислорода в газовой смеси  $\text{HCl} + \text{O}_2$ : 1/  $4 \text{ см}^3/\text{мин}$ ; 2/  $10 \text{ см}^3/\text{мин}$ ; 3/  $20 \text{ см}^3/\text{мин}$ ,  $\text{HCl} + \text{O}_2$ ,  $20 \text{ см}^3/\text{мин}$ ; 4/  $85\% \text{ O}_2$ ; 5/  $50\% \text{ O}_2$ ; 6/  $15\% \text{ O}_2$ .

## 2. Термохроматография ультрамикрочколичеств $\text{Pz3}$ в потоках $\text{Cl}_2$ и $\text{HCl}$

При термохроматографировании ультрамикрочколичеств лантанидов в потоках  $\text{Cl}_2$  и  $\text{HCl}$  ( $20 \text{ мл}/\text{мин}$ ) исследуемый элемент, например лантан, практически полностью адсорбировался в температурной зоне  $845 \pm 10 \text{ K}$  /рис.4 и 5/. Очевидно, что в этом температурном интервале на кварце адсорбировался  $\text{LaCl}_3$ . Такие же результаты были получены и для других лантанидов.

В экспериментах с хлором всегда наблюдалась небольшая адсорбция элементов - порядка десятых долей процента - при

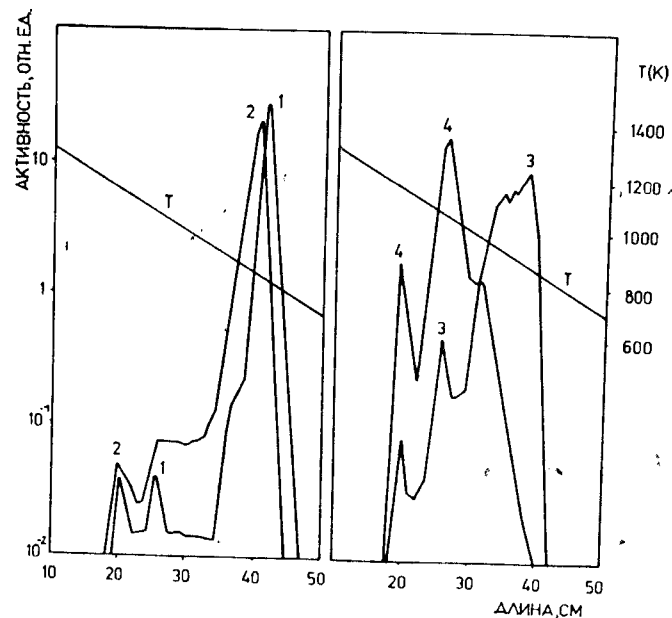


Рис.4. Термохроматограммы хлоридов лантана в кварцевых колонках  $\phi 1,25 \text{ мм}$  в потоке  $\text{Cl}_2 + \text{O}_2$ ,  $20 \text{ см}^3/\text{мин}$ ,  $T_{\text{H}} = 1370 \text{ K}$ ,  $\tau = 30 \text{ мин}$ : 1/  $100\% \text{ Cl}_2$ ; 2/  $80\% \text{ Cl}_2$ ; 3/  $67\% \text{ Cl}_2$ ; 4/  $50\% \text{ Cl}_2$ .

$1040 \pm 10 \text{ K}$  и  $1173 \pm 10 \text{ K}$  /рис.4/. Соединения, сорбировавшиеся при этих температурах, вероятно, образовались из-за примеси кислорода в хлоре. Действительно, добавка кислорода к хлору /хлористому водороду/ увеличивала их выход, а при  $50/80\%$  содержания  $\text{O}_2$  в газовой смеси лантаниды полностью адсорбировались в высокотемпературной зоне /рис.4,5/. Чтобы устранить влияние неконтролируемых примесей кислорода, мы добавляли  $\text{C}_2\text{Cl}_6$  к  $\text{Cl}_2$  и  $\text{H}_2$  к  $\text{HCl}$ . Добавки позволили устранить адсорбцию лантанидов при высоких температурах, однако пики на хроматограммах оставались неправильной формы /рис.6/. Этот эффект, по нашему мнению, был связан с неоднородностью поверхности кварца. Для его устранения мы проводили отжиг колонок при  $1370 \text{ K}$  и непрерывном пропускании газа-реактента. Такая обработка оказалась очень эффективной: хроматографические пики стали в  $3 \div 4$  раза уже, имели форму, близкую к симметричной, их стандартное отклонение  $\sigma$  составляло  $5 \div 6,5 \text{ K}$ , что совпадало с величиной, рассчитанной по уравнению /2/, для  $\text{LaCl}_3$  при  $D_{\text{газ}}^0 = 0,65 \text{ см}^2 \cdot \text{с}^{-1}$  в смеси  $\text{H}_2/\text{HCl} = 1:1$ ,  $V_0 = 20 \text{ см}^3/\text{мин}$ ,  $T_{\text{H}} = 1373 \text{ K}$ ,  $T_{\text{a}} = 853 \text{ K}$ .

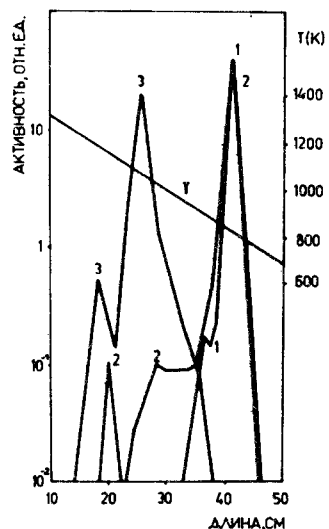


Рис.5. Термохроматограммы хлоридов лантана в кварцевых колонках  $\phi$  1,25 мм в потоке  $\text{HCl} + \text{O}_2$ ,  $20 \text{ см}^3/\text{мин}$ ,  $T_H = 1370 \text{ K}$ ,  $\tau = 30 \text{ мин}$ : 1/ 100%  $\text{HCl}$ ; 2/ 50%  $\text{HCl}$ ; 3/ 20%  $\text{HCl}$ .

В условиях, тождественных тем, в которых проводились эксперименты с лантаном, были определены температуры центров тяжести зон адсорбции ультрамикрочастиц трихлоридов некоторых других лантанидов. Результаты, приведенные в таблице, показывают, что трихлориды всех изученных РЗЭ адсорбируются в узком температурном интервале. Для лантана и лютеция, крайних элементов редкоземельной группы,  $\Delta T_a = 10 \pm 1 \text{ K}$  /рис.7/. Эта величина в  $10 \pm 15$  раз меньше приведенной в литературе /10,11,13-16/. Мы не нашли объяснения столь существенной разнице наших и опубликованных данных. Она, вероятно, связана с подготовкой газореагентов и колонок, стартовой температурой и продолжительностью хлорирования. Одна из возможных причин - разница в абсолютных количествах трихлоридов элементов, введенных в ТХК. В наших экспериментах количества лантанидов всегда были меньше  $0,1 \text{ мкг}$ . Увеличение их количества, например до  $1 \text{ мкг}$ , приводило к сдвигу  $T_a$  в область высоких температур примерно на  $50 \text{ K}$ .

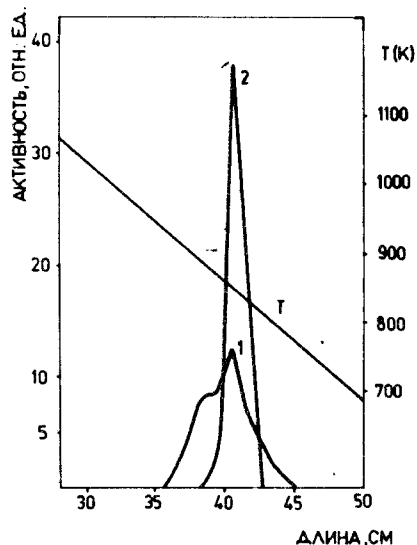


Рис.6. Влияние высокотемпературной подготовки кварцевых колонок  $\phi$  1,25 мм на форму зоны адсорбции  $^{140}\text{LaCl}_3$ ,  $T_H = 1370 \text{ K}$ ,  $\tau = 30 \text{ мин}$ ,  $\text{HCl} + \text{H}_2$  /1:1/,  $20 \text{ см}^3/\text{мин}$ : 1/ неподготовленная колонка; 2/ подготовленная колонка.

Таблица

Температуры центров тяжести зон адсорбции трихлоридов лантанидов на кварце /К/ в потоках различных газореагентов.  $V_0 = 20 \text{ см}^3/\text{мин}$ ,  $T_H = 1370 \text{ K}$ ,  $\tau = 1 \text{ час}$ , количества редкоземельных элементов  $\leq 0,1 \text{ мкг}$ . В скобках дано число определений величины  $T_a$  для каждого элемента

Элемент	50% $\text{HCl} + 50\% \text{H}_2$	$\text{Cl}_2 + \text{C}_2\text{Cl}_6$	$\text{HCl}$	$\text{N}_2 + \text{SOCl}_2$
La	846 $\pm$ 9/8/	858 $\pm$ 10/8/	849 $\pm$ 9/3/	855 $\pm$ 11/3/
Ce	843 $\pm$ 13/5/	-	-	-
Nd	838 $\pm$ 10/5/	-	-	-
Sm	843 $\pm$ 12/5/	-	-	-
Eu	-	858 $\pm$ 10/5/	-	-
Gd	843 $\pm$ 14/5/	853 $\pm$ 10/5/	-	-
Yb	838 $\pm$ 10/5/	-	-	-
Lu	835 $\pm$ 10/8/	849 $\pm$ 10/8/	840 $\pm$ 8/3/	844 $\pm$ 9/3/

/рис.8/. Экспериментальные данные, представленные на рис.8, позволили рассчитать емкость поверхности кварцевой ТХК для  $\text{LaCl}_3$ , которая составила  $4,05 \pm 0,08 \cdot 10^{14}$  молекул/ $\text{см}^2$ .

Проведенные исследования позволяют нам сделать следующие выводы:

А. Показана принципиальная возможность термохроматографического разделения летучих веществ, незначительно отличающихся по температуре центров тяжести зоны адсорбции на колонке  $\Delta T_a = 15 \pm 20 \text{ K}$ .

Б. Методом газовой ТХ без использования комплексообразующих агентов /21,22/ нельзя разделить ультрамикрочастицы трихлоридов лантанидов из-за близости их  $T_a$  ( $\Delta T_a \text{LaCl}_3/\text{LuCl}_3 = 10 \pm 1 \text{ K}$ ).

В. Для оценки  $T_a$  ультрамикрочастиц трихлоридов редкоземельных элементов, очевидно, не применима наблюдающаяся для хлоридов ряда элементов корреляция  $T_a$  и  $\Delta H_{\text{субл.}298 \text{ K}}^\circ$  /11/. Известно, что  $T_a$  зависят не только от  $\Delta H_a \sim \Delta H_{\text{субл.}298 \text{ K}}^\circ$ , но и от  $\Delta S_a$  /9,23/. Если  $\Delta S_a \sim |\Delta S_{\text{субл.}298 \text{ K}}|$ , то существенные изменения последней величины /12/ могут компенсировать влияние  $\Delta H_a$  и приводить, в конечном итоге, к близким величинам  $T_a$  трихлоридов всех лантанидов.

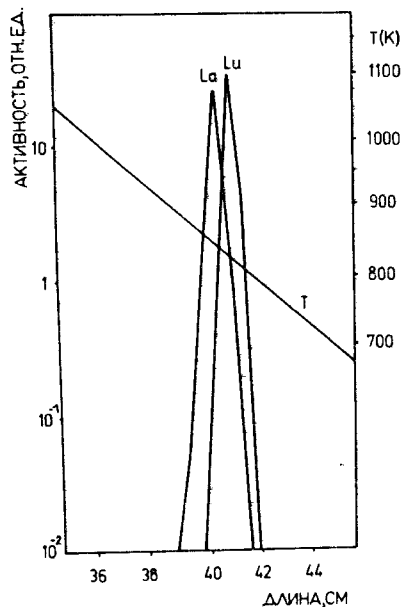


Рис.7. Термохроматограммы  $^{140}\text{LaCl}_3$  и  $^{172}\text{LuCl}_3$  в кварцевой колонке  $\phi$  1,25 мм,  $\text{HCl} + \text{H}_2$  /1:1/,  $20 \text{ см}^3/\text{мин}$ ,  $T_{\text{H}} = 1370 \text{ К}$ ,  $\tau = 30 \text{ мин}$ .

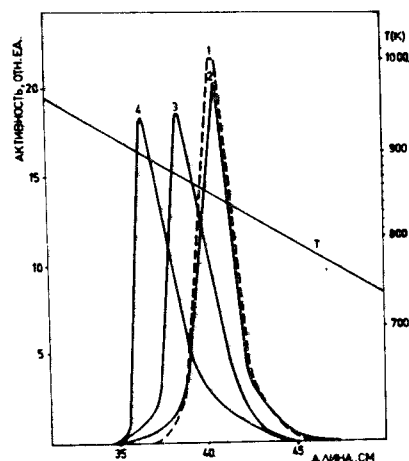


Рис.8. Распределение  $\text{LaCl}_3$  в зависимости от количества введенного в кварцевую колонку  $\phi$  1,25 мм лантана,  $T_{\text{H}} = 1370 \text{ К}$ ,  $\tau = 30 \text{ мин}$ ,  $\text{HCl} + \text{H}_2$  /1:1/,  $20 \text{ см}^3/\text{мин}$ : 1/  $^{140}\text{La}$  без носителя; 2/ 0,1 мкг; 3/ 0,5 мкг; 4/ 1 мкг.

Авторы благодарят Г.Ю.Байера и В.И.Соболева за большую техническую помощь при выполнении этой работы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Merinis J., Bouissieres G. Anal.Chim.Acta, 1961, 25,5, p.498.
2. Айхлер Б. ОИЯИ, P12-6662, Дубна, 1971.
3. Rudstam G., Grapengiesser B. Radiochim.Acta, 1973, 20, 3, p.97.
4. Davidov A.V., Travnikov S.S., Myasoedov B.F. J.Radioanal. Chem., 1973, 14, p.285.
5. Звара И. и др. Радиохимия, 1976, 18, 3, с.371.
6. Новгородов А.Ф. и др. Радиохимия, 1980, 22,5, с.763.
7. Саттаров Г., Кист А.А., Хаттимов Ш. Радиохимия, 1980, 22, 6, с.899.

8. Белов В.З. и др. ОИЯИ, P12-8216, Дубна, 1974.

9. Новгородов А.Ф., Колачковски А. ОИЯИ, P6-12457, Дубна, 1979.
10. Van Deemter J.J., Zuiderweg F.J., Klinkenberg A. Chem. Engng.Sci., 1956, 5, p.271.
11. Айхлер Б., Доманов В.П. ОИЯИ, P12-7775, Дубна, 1974.
12. Айхлер Б. и др. ОИЯИ, P12-9454, Дубна, 1976.
13. Термические константы веществ, вып.VIII, часть 1 /под ред. В.П.Глушко/. Изд-во АН СССР, М., 1978.
14. Merinis J., Bouissieres G. Radiochim.Acta, 1969, 12, 3, p.140.
15. Давыдов А.В., Травников С.С., Мясоедов Б.Ф. ЖАХ, 1971, 26, 10, с.1936.
16. Travnikov S.S., Davydov A.V., Myasoedov B.F. J.Radioanal. Chem., 1975, 25, p.17.
17. Давыдов А.В., Травников С.С., Мясоедов Б.Ф. Chemia analityczna, 1976, 21,1, p.41.
18. Merinis J. Theses, A21, Orsay, 1965.
19. Молекулярные постоянные неорганических соединений /под ред. К.С.Краснова/. "Химия", Л., 1979.
20. Энергия разрыва химических связей. Потенциалы ионизации и сродство к электрону /под ред. В.М.Кондратьева/. "Наука", М., 1974.
21. Звара Т.С., Звара И. ОИЯИ, P12-4504, Дубна, 1969.
22. Bachmann K. et al. GSI, Jahresbericht 1977, GSI-J-1-78, Darmstadt, 1978, p.183.
23. Айхлер Б., Звара И. ОИЯИ, P12-8943, Дубна, 1975.

Рукопись поступила в издательский отдел  
27 апреля 1982 года.

## НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги, если они не были заказаны ранее.

D13-11182	Труды IX Международного симпозиума по ядерной электронике. Варна, 1977.	5 р. 00 к.
D17-11490	Труды Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1977.	6 р. 00 к.
D6-11574	Сборник аннотаций XV совещания по ядерной спектроскопии и теории ядра. Дубна, 1978.	2 р. 50 к.
D3-11787	Труды III Международной школы по нейтронной физике. Алушта, 1978.	3 р. 00 к.
D13-11807	Труды III Международного совещания по пропорциональным и дрейфовым камерам. Дубна, 1978.	6 р. 00 к.
D1,2-12036	Труды VI Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1978 /2 тома/	7 р. 40 к.
D1,2-12450	Труды V Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1978	5 р. 00 к.
D1,2-12450	Труды XII Международной школы молодых ученых по физике высоких энергий. Приморско, НРБ, 1978.	3 р. 00 к.
D11-80-13	Труды VII Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, Дубна, 1980 /2 тома/	8 р. 00 к.
D11-80-13	Труды рабочего совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике, Дубна, 1979	3 р. 50 к.
D4-80-271	Труды Международной конференции по проблемам нескольких тел в ядерной физике. Дубна, 1979.	3 р. 00 к.
D4-80-385	Труды Международной школы по структуре ядра. Алушта, 1980.	5 р. 00 к.
D2-81-543	Труды VI Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1981	2 р. 50 к.
D10,11-81-622	Труды Международного совещания по проблемам математического моделирования в ядерно-физических исследованиях. Дубна, 1980	2 р. 50 к.
D1,2-81-728	Труды VI Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1981.	3 р. 60 к.
D17-81-758	Труды II Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1981.	5 р. 40 к.
D1,2-82-27	Труды Международного симпозиума по поляризационным явлениям в физике высоких энергий. Дубна, 1981.	3 р. 20 к.
P18-82-117	Труды IV совещания по использованию новых ядерно-физических методов для решения научно-технических и народнохозяйственных задач. Дубна, 1981.	3 р. 80 к.

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу:  
101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79  
Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований

Нгуен Конг Чанг и др. 6-82-307

Исследования высокотемпературного хлорирования ультрамикроколичеств редкоземельных элементов и термохроматографического поведения их трихлоридов

В открытых кварцевых ГТХ-колонках диаметром 1,25 мм получены четкие зоны адсорбции трихлоридов отдельных редкоземельных элементов, характеризующиеся значением среднеквадратичного отклонения распределения адсорбата  $\sigma=5K$ . Доказано, что температуры центров тяжести зон адсорбции трихлоридов всех редкоземельных элементов практически одинаковы и, следовательно, нельзя провести газотермохроматографического разделения их ультрамикроколичеств.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1982

Nguyen Cong Trang et al. 6-82-307

Investigations of High-Temperature Chlorination of Ultramicroamounts of Rare-Earth Elements and Study of Thermochromatographic Behaviours of Their Trichlorides

For trichlorides of some rare-earth elements, clear adsorption zones, being characterized by standard deviation of adsorbate distribution ( $\sigma=5K$ ) have been obtained in open quartz columns with diameter of 1.25 mm. It has been proved that the temperatures of the centers of gravity of adsorption zones were practically the same for trichlorides of all the rare-earth elements, therefore, it follows that thermochromatographic method cannot be performed for separation of their ultramicroamounts.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1982

Перевод авторов.