

Chromatografické oddelovanie rádiochemicky čistého ^{90}Y od materského ^{90}Sr

F. MACÁŠEK, R. ČECH

*Katedra anorganickej chémie a rádiochémie Prírodovedeckej fakulty
Univerzity Komenského, Bratislava*

*Oddelenie biochémie a radiačnej chémie Výskumného ústavu
pre konzerváciu potravín, Bratislava*

Sledovala sa účinnosť metódy chromatografie výmeny iónov pre periodické oddelovanie rádiochemicky čistého ^{90}Y od materského ^{90}Sr za použitia kyseliny etyléndiamintetraoctovej ako komplexotvorného činidla.

Výhodné rádioaktívne vlastnosti rádionuklidu ^{90}Y (čistý β žiarič s maximálnou energiou β častíc 2,27 MeV, doba polovičného rozpadu 64,8 hod.) spolu s možnosťou jeho izolácie od materského ^{90}Sr (β žiarič s maximálnou energiou β častíc 0,61 MeV, s dobou polovičného rozpadu 28,4 roku), s ktorým prichádza do rádioaktívnej rovnováhy, robia ho vhodným napríklad pre použitie v rádioterapii [1, 3] a v hydrológii [2]. Pri oddelovaní ^{90}Y od materského ^{90}Sr sa kladú vysoké požiadavky na čistotu izolovaného ^{90}Y vzhľadom na radiotoxicitu ^{90}Sr . Napríklad ^{90}Y , používané v medicíne, nesmie obsahovať viac než 10^{-4} % ^{90}Sr [3]. Podľa čs. noriem maximálna koncentrácia ^{90}Sr v pitnej vode pri nepretržitom pôsobení je $3 \cdot 10^{-11}$ c/l a pripúšťa sa desaťnásobné zvýšenie [4].

Z metód, ktorými sa dá získať rádioytrium z materského ^{90}Sr pri zachovaní požiadavky vysokej čistoty, možno uviesť extrakciu [1, 5, 6], spoluzrážanie [7], elektrolýzu [8] a chromatografiu výmeny iónov [9, 10]. Z hľadiska technickej jednoduchosti periodického získavania ^{90}Y najvhodnejšou sa javí metóda chromatografie výmeny iónov. V práci [9] sa uvádza, že ^{90}Y mohli vymývať z katexovej kolónky, obsahujúcej sorbovaný ^{90}Sr , s 0,01 M-EDTA pri pH 6 po dobu 4 rokov bez toho, žeby došlo k vymytiu ^{90}Sr . V našej práci sme sa rozhodli podrobnejšie preskúmať možnosti uvedenej metodiky. Potrebnú informáciu sme získali štúdiom rozdeľovacích koeficientov a elučných kriviek.

Experimentálna časť

Všetky použité chemikálie boli čistoty p. a. Hydroxid amónny bez CO_2 sa pripravil nasycovaním čerstvo prevarenej destilovanej vody v platinovej miske v exsikátore nad koncentrovaným hydroxidom amónnym p. a.

Ako rádioaktívne indikátory sa použili ^{89}Sr a ^{91}Y vo forme chloridov (roztoky „bez nosiča“ v 1 N-HCl, špecifická aktivita 0,5 mc/ml), obsah rádioaktívnych prímiesí bol ≤ 1 %.

Použili sa ionexy: Dowex 50 X2 (200 — 400 mesh) a Dowex 50 X8 (100 — 200 mesh) —

výrobca FLUKA AG, Chemische Fabrik Buchs-SG a Zerolit 225 SRC-16 (8 % DVB, 200 mesh) — výrobca United Water Softeners, Londýn. Po 24 hodinovom napučíavaní v destilovanej vode sa tieto ionexy previedli 15 % HCl do H-formy, z ktorej sa pomocou nasýtených roztokov NH_4Cl , ZnCl_2 a CaCl_2 pripravili príslušné amónne, zinočnaté a vápenaté formy. Po napučaní ionexov sa stanovila ich zrnitosť hustomernou metódou [11] a sedimentáciou sa vyberali frakcie v intervale zrnitosti 0,06—0,15 mm. Ionexy, premyté destilovanou vodou do zápornej reakcie na chloridové ióny, uchovávali sa pod vrstvičkou vody.

Na meranie aktivity preparátov sa ako detektor použil GM-počítač typu AB 30/30 s meracou aparatórou NZQ 612 (Tesla Přemyšlení).

Vzorky roztokov o objeme 0,1—1,0 ml sa odparovali na hliníkových miskách pod infralampou. Početnosť sa merala v štandardných geometrických podmienkach (geometrický faktor 0,3) tak dlho, aby relatívna štatistická chyba neprevyšovala 1—5 %.

Na kontinuálne meranie aktivity vo výtoky z chromatografickej kolónky sme pripôsobili univerzálny rádiometer TISS (SSSR). V jeho sonde TČ sme ponechali iba jednu trubicu STS-6, okolo ktorej sme obtočili polyetylénovú kapiláru (objem meranej kvapaliny bol 3 ml). Na zníženie pozadia sme sondu tienili 5 cm vrstvou olova.

pH sme merali upraveným laboratórnym kompenzačným pH-metrom (vývojové dielne ČSAV) s vysokoohmovou sklenenou elektródou typu SEV a referentnou kalomelovou elektródou typu KALC v tienenej elektródovej nádobke. Reprodukovateľnosť merania bola $\pm 0,05$ pH.

Sorpcia rádioizotopov na katexoch v roztokoch rozličného zloženia (pH, konkurenčné ióny) sa sledovala pri pretrepávaní 0,100 g napučaného ionexu s 10 ml pripraveného roztoku v zábrusových skúmavkách. Výhodisková špecifická aktivita roztokov s rádioaktívnymi indikátormi bola ~ 20 nc/ml. Súčasne sa sledovala sorpcia v rovnakých podmienkach na stenách skúmaviek (slepý pokus bez katexu). Vzorky na meranie aktivity sa odoberali z pôvodných roztokov po skončení trpania a po päťminútovej sedimentácii ionexu. Pipetky sa po každom odbere vzorky premývali roztokom Chelatonu III, kyselínou dusičnou a destilovanou vodou. Súčasne s meraním aktivity roztokov sa kontrolovala hodnota pH roztokov.

Acidita roztokov EDTA sa upravovala malými množstvami amoniaku bez CO_2 , pričom sa molalita zásobných roztokov zmenila najviac o 2 %. Roztoky chelatonátu zinočnatého a vápenatého sa pripravili podľa výsledkov titrácie roztokov dusičnanu zinočnatého, resp. vápenatého roztokom EDTA na eriochrómčern T [12] (str. 269).

Kolónku o priereze $0,44 \text{ cm}^2$ s nádržkou v hornej časti sme naplnili destilovanou vodou a postupne premiešavanou suspenziou napučaného ionexu, ktorý sme nechali v kolónke 24 hodín voľne sedimentovať. Výška katexového stĺpca bola 30 cm. Podľa váhového množstva katexu a jeho mernej hmotnosti sme vypočítali voľný objem kolónky $f = 4 \text{ cm}^3$. Pretože pri takto pripravenej kolónke prietoková rýchlosť bola iba $0,2 \text{ ml/min.}$, použili sme na jej zvýšenie pretlak ortuťového stĺpca (100—300 torr), čím sa dala regulovať prietoková rýchlosť až do $1,5 \text{ ml/min.}$ Aktivitu eluátu sme merali opísaným spôsobom.

Rádioaktívne indikátory ^{89}Sr a ^{91}Y sa sorbovali na katex opatrným prenesením $0,05$ — $0,15 \text{ ml}$ roztokov v $0,1 \text{ N-HCl}$ na hornú vrstvu katexového stĺpca. Po sorpcii sa nádržka kolónky a katex premyli destilovanou vodou, úplnosť sorpcie sa kontrolovala meraním aktivity vo vytekajúcom roztoku. Eluovalo sa roztokmi EDTA (pozri ďalej). Po každej elúcii sa katex v kolónke premyl destilovanou vodou (ak elúcia nebola ukončená, 1 N-HCl , roztokom chloridu amónneho a destilovanou vodou do zápornej reakcie na chloridové ióny).

Výsledky a diskusia

Kinetika sorpcie ^{89}Sr a ^{91}Y z roztokov 0,01 N-HCl na použitých formách ionexov ukázala, že na dosiahnutie rovnovážneho stavu je potrebné približne 120 minút (pri Dowexe 50 X2 bol pre jeho nižšie sietovanie priebeh sorpcie oniečo rýchlejší), takže túto dobu sme zachovávali pri statických pokusoch.

Pri hľadaní optimálnych podmienok separácie prvkov sa vychádzalo z ich rozdeľovacích koeficientov, ktoré sú udané pomerom rovnovážnych koncentrácií prvku v ionexe a v roztoku:

$$K_d = \frac{c_i}{c_r} \quad (1)$$

V našom prípade sa rozdeľovacie koeficienty určovali podľa percenta sorpcie γ v statických pokusoch [13] (str. 36), pričom γ zahrnuje súčasne sorpciu na skle:

$$K_d = \frac{\gamma - \gamma_s}{100 - (\gamma - \gamma_s)} \cdot \frac{V}{m} \quad (2)$$

kde γ_s = percento sorpcie na skle, stanovené v skúmvkách bez ionexu,

V = objem roztoku,

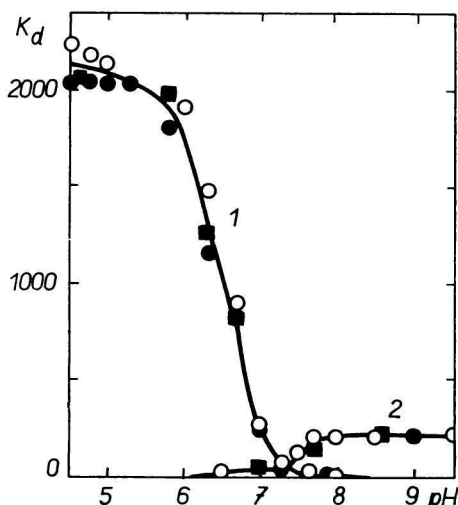
m = návažok ionexu (zachovávali sme pomer $V/m = 100 \text{ ml/g}$).

Separácia RdY a RdSr bude najlepšia v podmienkach, keď separačný faktor:

$$\alpha = K_d(\text{Sr})/K_d(\text{Y}) \quad (3)$$

bude maximálny.

Zistená závislosť rozdeľovacích koeficientov pre RdY a RdSr v roztokoch 0,01 M-EDTA v závislosti od pH je uvedená na obr. 1. Ako vidieť, sietovanie katexu nemá podstatný vplyv na rozdeľovacie koeficienty, ale rozhodujúcou bude tvorba komplexov Sr a Y s EDTA.



Obr. 1. Závislosť rozdeľovacích koeficientov RdSr (krivka 1) a RdY (krivka 2) v 10^{-2} M-EDTA od pH roztoku.
 ○ Dowex 50 X2; ■ Dowex 50 X8;
 ● Zerolit 225 8% DVB.

Stabilita komplexov Sr a Y s EDTA je značne rozdielna. Konštanty disociácie normálnych komplexov katiónov M^{n+} s EDTA (EDTA označíme ako štvorsýtnu kyselinu H_4A) sú v prípade Sr a Y: $K_{SrA} = 2,34 \cdot 10^{-9}$ a $K_{YA} = 8,13 \cdot 10^{-10}$ [12]. Konštantá kyselinovej disociácie hydrogénkomplexov v prípade Sr má hodnotu $K_{SrHA} = 1,18 \cdot 10^{-4}$ [14] a hodnotu pri Y môžeme odhadnúť podľa analógie s La a Sc [15] na $K_{YHA} = 10^{-2}$. Koncentrácia katiónov tvoriacich komplexy s EDTA je v našom prípade zanedbateľná v porovnaní s koncentráciou voľnej EDTA (c_A), takže $c_A = \text{const}$ v celom rozmedzí pH. Platí:

$$[A^{4-}] = \frac{c_A}{\sum_{i=0}^4 \frac{[H^+]^i}{K_0 \dots K_i}}, \quad (4)$$

kde K_i sú disociačné konštanty EDTA do i -tého stupňa ($K_0 = 1$, $K_1 = 1,009 \cdot 10^{-2}$, $K_2 = 2,128 \cdot 10^{-3}$, $K_3 = 6,902 \cdot 10^{-7}$, $K_4 = 5,47 \cdot 10^{-11}$).

Ak si molárne zlomky voľných katiónov M^{n+} označíme ako x_1 , hydrogénkomplexu MHA^{n-3} ako x_2 a normálnych komplexov MA^{n-4} ako x_3 ($x_1 + x_2 + x_3 = 1$), z disociačných konštant K_{MA} a K_{MHA} pri podmienke (4) dostávame x_1 , x_2 a x_3 ako funkcie $[H^+]$:

$$x_1 = \frac{z_1}{1 + z_1 + z_2}; \quad x_2 = \frac{z_2}{1 + z_1 + z_2}; \quad x_3 = \frac{1}{1 + z_1 + z_2}, \quad (5)$$

kde

$$z_1 = \frac{K_{MA}}{c_A} \sum_{i=0}^4 \frac{[H^+]^i}{K_0 \dots K_i}$$

a

$$z_2 = \frac{[H^+]}{K_{MHA}}.$$

Hodnoty x_1 , x_2 a x_3 , vypočítané pre stopové množstvá Sr v 10^{-2} M-EDTA v oblasti pH 4—9, sú v tab. 1. Ako vidieť z porovnania na obr. 1 s údajmi v tab. 1, prudký pokles rozdeľovacieho koeficienta $K_d(\text{Sr})$ v oblasti pH 6—8 zodpovedá vzostupu stupňa komplexity z 98 % na 99,99 %, pretože

$$K_d(\text{Sr}) = \frac{[\text{Sr}^{2+}]_{\text{ionex}}}{[\text{Sr}^{2+}]_{\text{roztok}} + [\text{SrHA}^-] + [\text{SrA}^{2-}]}$$

pri lineárnej izoterme sorpcie Sr^{2+} na katexe závisí iba od stupňa komplexity.

Tabuľka 1

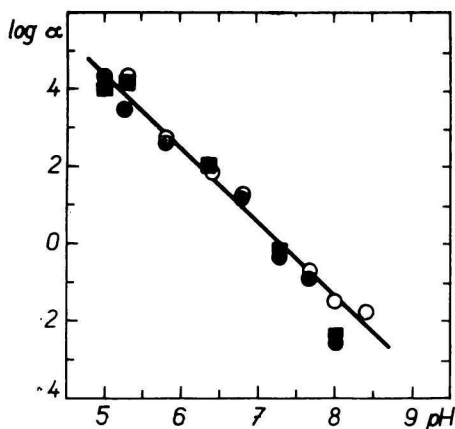
Komplexita stóp Sr v 10^{-2} M-EDTA, udaná v molárnych zlomkoch

| pH | Sr^{2+} | SrHA^- | SrA^{2-} |
|----|------------------|-----------------|-------------------|
| 4 | 0,973 | 0,001 | 0,026 |
| 5 | 0,863 | 0,011 | 0,126 |
| 6 | 0,0103 | 0,0083 | 0,981 |
| 7 | 0,0005 | 0,0008 | 0,9987 |
| 8 | 0,00004 | 0,00008 | 0,9999 |
| 9 | ~ 0 | ~ 0 | ~ 1,0000 |

Priebeh závislosti rozdeľovacieho koeficienta pre Y sa nedá vysvetliť obdobným spôsobom. Rast $K_d(Y)$ pri $\text{pH} > 6$, keď sa má viac než 99,99 % Y nachádzať vo forme komplexného aniónu YA^- a tvorba neutrálneho hydrogénkomplexu neprichádza do úvahy (podobne i vznik viacjadrových komplexných katiónov), možno sa pokúsiť vysvetliť anomálnou sorpciou rádiokoloidu ytria, ktorého vznik je možný v danej oblasti pH [13] (str. 139).

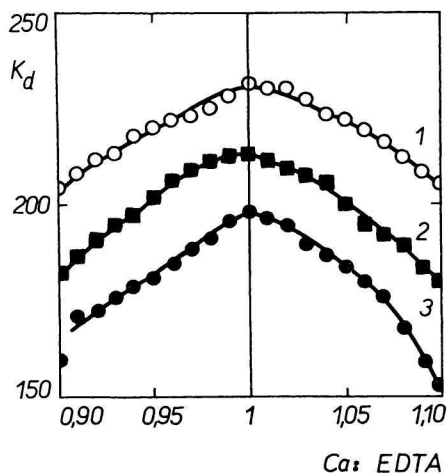
Separáčny faktor (obr. 2) má v oblasti pH 4,5—5,5 hodnotu 10^3 až 10^4 , čo zaručuje vysokú účinnosť chromatografickej separácie RdY a $RdSr$ pri kolónkovom usporiadaní.

V prípade chromatografického oddeľovania makromnožstiev prvkov komplexotvorným elučným činidlom môžeme dosiahnuť zvýšenie separačného faktora, ak namiesto voľného komplexotvorného činidla použijeme komplex takého katiónu, ktorý svojou konštantou stability sa nachádza medzi konštantami stability komplexov oddeľovaných katiónov (pozri napríklad [9]). Pre oddeľovanie Sr a Y by prichádzali do úvahy napríklad chelatonát zinočnatý (disociačná konštanta $K = 3,17 \cdot 10^{-17}$) alebo vápenatý ($K = 1,1 \cdot 10^{-11}$).



Obr. 2. Závislosť separačného faktora $\alpha = K_d(Sr)/K_d(Y)$ v 10^{-2} M-EDTA od pH roztočtu.

○ Dowex 50 X2; ■ Dowex 50 X8;
● Zerolit 225.



Obr. 3. Závislosť rozdeľovacieho koeficienta $RdSr$ v roztokoch $Ca-EDTA$ v prípade Ca -formy Dowexu 50 X2 od pomeru $Ca: EDTA$.

Krivka 1: $5 \cdot 10^{-3}$ M-EDTA; krivka 2: 10^{-2} M-EDTA; krivka 3: $5 \cdot 10^{-2}$ M-EDTA.

V L. Anochin teoreticky rozobral rovnovážne pomery v systéme $Ca-Sr-EDTA$ a ukázal, že pri ekvivalentnom pomere $Ca: EDTA$ napriek tomu, že chelatonát vápnika má vyššiu konštantu stability, bude Sr vstupovať do komplexu s $EDTA$ tým viac, čím menší je pomer $Sr: Ca$ [14]. Výsledky našich stanovení rozdeľovacieho koeficienta pre Sr v roztokoch chelatonátu zinočnatého a vápenatého kvalitatívne potvrdzujú vývody jeho práce:

v 10^{-2} M roztokoch EDTA sú príslušné rozdeľovacie koeficienty na Zn-forme a Ca-forme Dowexu 50 X2 $K_d(\text{Sr}) = 223$ a 213 , čo zodpovedá $\sim 70\%$ RdSr v roztoku. Na obr. 3 je znázornená závislosť $K_d(\text{Sr})$ v roztokoch chelatonátu vápenatého v prípade Ca-formy Dowexu 50 X2 od pomeru Ca EDTA. Pri stúpajúcej koncentrácii chelatonátu rozdeľovací koeficient klesá napriek očakávaniam podľa [14]. Uplatňuje sa zrejme nielen stupeň komplexity Sr, ale aj konkurencia vedľajšieho iónu pri sorpcii (prítomnosť vápnika v koncentrácii 10^{-6} M vyvoláva zníženie sorpcie stôp Sr na Ca-forme katexu zo 100 na 66 %). Sorpcia teda závisí viac od pomeru Ca EDTA než od Sr Ca. Z toho takisto vyplýva, že návrh na sorpciu Sr zo systému Ca(Sr)—Mg—EDTA [14] pri nadbytku iónov Mg^{2+} vzhľadom na konkurenciu iónov Mg^{2+} pri sorpcii nie je vhodný pre rádiochemickú analýzu.

Pretože sietovanie katexov nemalo podstatný vplyv na separačné koeficienty pre Sr—Y, na kolónkové pokusy sme vybrali Dowex 50 X2 v NH_4 -forme. Použitie katexu s nízkym sietovaním dovoľuje znížiť výšku teoretického poschodia v kolónke, ktoré podľa Glueckaufovej teórie [16] je nepriamo úmerné difúznemu koeficientu iónu v ionexe a je teda tým nižšie, čím menšie je sietovanie. Na základe elučných kriviek RdY pri vymývaní s 10^{-2} M roztokom EDTA pri pH 5,11 z opísanej kolónky sme stanovili počet teoretických poschodí v závislosti od prietokovej rýchlosti. Výsledky sú zhrnuté v tab. 2.

Tabuľka 2

Počet teoretických poschodí pre kolónku Dowex 50 X2, $30 \text{ cm} \times 0,44 \text{ cm}^2$, pri elúcii RdY s 10^{-2} M-EDTA, pH 5,11

| | | | | | | |
|--------------------------------------|-------------|-------|-------|-------|------|------|
| Lineárna prietoková rýchlosť cm/s | 0,007 | 0,013 | 0,020 | 0,030 | 0,04 | 0,06 |
| Počet teoretických poschodí | ~ 1500 | 200 | 150 | 90 | 23 | 17 |

Elučné maximá rádioyttria a rádiostroncía, vypočítané pre dané podmienky podľa teórie poschodí [16], majú sa nachádzať pri 40 ml (RdY) a 20 200 ml (RdSr), t. j. je možné mnohonásobné vymytie ^{90}Y z kolónky obsahujúcej ^{90}Sr napriek značnému rozmytiu elučného hrotu ^{90}Sr . Z hľadiska čistoty získavaného ^{90}Y je výhodná čo najnižšia prietoková rýchlosť, avšak doba potrebná na elúciu je potom neúmerne veľká. Pri prietokovej rýchlosti 0,8 ml/min. (0,03 cm/min.) maximum elučného hrotu RdY bolo pri 83 ml pretečeného roztoku a na úplné vymytie je potrebná doba približne 2 hodiny. Sledovali sme preto vymývanie RdSr za týchto podmienok, vhodných pre praktické využitie. Cez kolónku, na ktorej bolo nasorbované $50 \mu\text{c}$ ^{89}Sr , prepustilo sa 3300 ml elučného roztoku uvedeného zloženia. Aktivita eluátu nebola merateľná v mililitrových od-

parkoch, preto z posledných 100 ml eluátu sa odparovaním pripravila vzorka na hliníkovej miske, ktorej nameraná absolútna aktivita bola $0,10 \pm 0,01$ nc. Ak teda na jednonásobné vymytie ^{90}Y by bolo potrebné 100 ml elučného roztoku, po 33 násobnom získavaní ^{90}Y z rovnovážnej zmesi so ^{90}Sr by znečistenie rádioyttria stronciom-90 nepresahovalo $2 \cdot 10^{-4} \%$ a v prvých dávkach by bolo ešte nižšie. V prípade potreby vyššej čistoty by bolo potrebné kolónku predĺžiť.

ХРОМАТОГРАФИЧЕСКОЕ РАЗДЕЛЕНИЕ РАДИОХИМИЧЕСКИ ЧИСТОГО ^{90}Y ОТ МАТЕРСКОГО ^{90}Sr

Ф. Мацашек, Р. Чех

Кафедра неорганической химии и радиохимии Естественного факультета
Университета им. Комenského, Братислава

Коэффициент разделения при chromatografическом делении радиоиттрия от радиоиттрия в 10^{-2} м растворах ЭДТА в интервале pH 4—4,5 достигает значений 10^3 — 10^4 . В отличие от эффекта, наблюдавшегося при разделении макроколичеств ионов, применение комплексонатов ЭДТА с промежуточным значением констант устойчивости (Zn , Ca) не улучшает условия разделения, а наоборот ухудшает, что связано также с влиянием конкурирующих ионов на сорпцию Sr . Нашли условия chromatografического разделения ^{90}Y и ^{90}Sr на Дауэксе 50 X2 в NH_4 -форме (200—230 меш, колонка $30 \text{ см} \times 0,44 \text{ см}^2$) элюцией 10^{-2} м-ЭДТА при pH 5,11. При скорости протекания 0,8 мл/мин возможно минимумально 33 кратное элюирование ^{90}Y от равновесного ^{90}Sr с радиохимической чистотой $\geq 99,9998 \%$. Разделение несложно и одна операция продолжается около двух часов.

Preložila T. Dillingeroová

CHROMATOGRAPHISCHE TRENNUNG RADIOCHEMISCH REINEN ^{90}Y VOM MUTTERISOTOP ^{90}Sr

F. Macášek, R. Čech

Lehrstuhl für anorganische Chemie und Radiochemie der Naturwissenschaftlichen
Fakultät an der Komenský-Universität, Bratislava

Der Separationsfaktor für die chromatographische Trennung von RdY und RdSr in 10^{-2} м Lösungen EDTA im Gebiet pH 4—4,5 erreicht einen Wert von 10^3 — 10^4 . Zum Unterschied vom Effekt, der im Falle der Trennung vom Makromengen der Ionen beobachtet wurde, verbessert die Anwendung der Komplexe EDTA mit dem Mittelwert der Konstanten die Stabilitäten (Zn , Ca) nicht sondern verschlechtert die Bedingungen der Separation, was gleichfalls mit der Beeinflussung der Sorption des Sr durch Konkurrenzionen verbunden ist. Es wurden die Bedingungen der chromatographischen Trennung des ^{90}Y und ^{90}Sr auf Dowex 50 X2 in der NH_4 -Form (200—230 Mesh, Kolonne

30 cm × 0,44 cm²) durch Elution mit 10⁻² M-EDTA bei pH 5,11 festgestellt. Bei einer Durchflußgeschwindigkeit von 0,8 ml/min ist minimal eine 33fache Elution des ⁹⁰Y vom Gleichgewichts-⁹⁰Sr mit einer radiochemischen Reinheit von ≥ 99,9998 % möglich. Diese Trennung ist einfach und eine Operation nimmt etwa 2 Std. in Anspruch.

Preložil K. Ullrich

LITERATÚRA

1. Nazin A. G., Levin V. I., Golutvina M. M., v sborníku *Metody polúčeníja radioaktivnych preparatov*, 118. Gosatomizdat, Moskva 1962.
2. Macásek F., Tresa F., Mikulaj V., Kopunec R., *Vodohospodársky časopis* **12**, 122 (1964).
3. Scheer K. E., *Strahlentherapie* **101**, 283 (1956).
4. *Vyhľadška č. 34/1963 Zb.*
5. Peppard D. I., Mason G. W., Moline S. W., *J. Inorg. Nucl. Chem.* **5**, 141 (1957).
6. Rudenko N. P., *Ž. neorg. chim.* **4**, 220 (1959).
7. Koda Y., *J. Inorg. Nucl. Chem.* **6**, 733 (1963).
8. Lange G., Herrmann G., Strassman F., *J. Inorg. Nucl. Chem.* **4**, 146 (1957).
9. Fouarge J., Fuger J., v sborníku *Radioisotopes in Scientific Research*, Vol. II, 211. Pergamon Press, London 1958.
10. Niemann E., Frühauf K., *Radiochim. Acta* **1**, 55 (1963).
11. A. Buzágh, *Praktikum z koloidiky*, 108—111. Vydavateľstvo SAV, Bratislava 1958.
12. Přibil R., *Komplexony v chemické analyse*, 66, 269. Nakladatelství ČSAV, Praha 1957.
13. Starik I. Je., *Osnovy radiochímii*, 36, 139. Izdatel'stvo Akademii nauk SSSR, Moskva 1959.
14. Anochin V. L., *Radiochímija* **2**, 470 (1960).
15. Schwarzenbach G., Gut R., Anderegg G., *Helv. Chim. Acta*, **37**, 937 (1954).
16. Helfferich F., *Ionenaustauscher I*. Verlag Chemie, Weinheim 1959; ruský preklad: *Ionity*, 235—278, 339—410. Izdatel'stvo inostrannoj literatury, Moskva 1962.

Do redakcie došlo 10. 7. 1964.

Adresa autorov:

Prom. chemik Fedor Macásek, Katedra anorganickej chémie a rádiochémie PFUK, Bratislava, Šmeralova 2.

Prom. chemik Roman Čech, Oddelenie biochémie a radiačnej chémie Výskumného ústavu pre konzerváciu potravín, Bratislava, Trenčianska 53.