

P R I K A Z I

Reviews Обозрения

Arh. hig. rada, 18 (1966) 456.

PRIKAZ ANALITIČKIH METODA KVANTITATIVNOG ODREĐIVANJA STABILNOG I RADIOAKTIVNOG CEZIJA

ALICA BAUMAN

Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada JAZU, Zagreb

(Primljeno 5. U 1966)

Prikazane su metode za određivanje aktivnog cezija radiokemijskim metodama ili stabilnog cezija u tragovima, analitičkim metodama. Posebna pažnja obrađena je metodama određivanja Cs-137 u uzorcima biosfere. Sakupljena literatura odnosi se na radove objavljene u posljednjih pet godina. Od starijih publikacija navedeni su prikazi ili izvorni radovi koji su temelj većini metoda koje se danas upotrebljavaju.

Rubidij i cezij otkrili su 1860. god. *Bunsen* i *Kirchhoff*. Nakon toga nije bilo mnogo interesa za ta dva elementa, zbog skupoga tehnološkog procesa odvajanja i poteškoća oko sirovina. Kao posljedica toga, rubidij i cezij malo su se primjenjivali te su ostali laboratorijski kurioziteti.

Nakon drugoga svjetskog rata počelo se ozbiljnije proučavati cezij u vezi s produkcijom velikih količina radioaktivnih produkata (kiloCurie-količina), a stabilan cezij našao je primjenu kao sastavni dio fotoelektričnih ćelija i za pripravu kristala CsJ.

Za nas je cezij zanimljiv zbog velike radioaktivnosti; javlja se kao produkt nuklearnih eksplozija, a vrijeme poluraspada iznosi mu 30,5 godina. Deset godina nakon zadnje nuklearne eksplozije, procenat prisutnog Cs¹³⁷ iznosi još uvijek 18,3% od ukupno preostale radioaktivnosti. Zbog toga što se pojavljuje tek kasnije, nakon eksplozija, akumulira se u stratosferi i depozicija na udaljenim mjestima mu je veoma velika.

Prve analitičke metode razrađene nakon drugoga svjetskog rata temelje se na klasičnim analitičkim metodama. Ali, naglim razvitkom kemijske i radiokemijske tehnike, naglo se povećao broj i vrsta metoda za određivanje cezija.

Prvi prikaz analitičkih metoda za određivanje cezija dali su *Papish* i *O'Leary* 1934. godine (102), a *Gmelin* izdaje poseban svezak »Cezij« 1936. godine. Premda su ta dva rada vrlo solidno obrađena, danas su potpuno zastarjeli. Od poslijeratnih prikaza valja spomenuti monografiju *Finstona* i *Kingsleya* iz 1961. god. (Izdanje: National Academy of Science-National Research Council, Monograph NAS-NS-3035) (31). Zatim, *Perelman*: Rubidij i cezij, monografija ANSSSR (1960), koja možda više opisuje kemijska svojstva cezija, nego pojedinačne metode, ali zato daje čitav niz referenca najstarijih radova o ceziju (105). Vrlo studiozan prikaz dao je *Yamagata* (149). Kineski prikaz *Džao Džun-šin*, *Lju-Bo-li*, poznat je samo kao referenca RŽHim (21). Dobar prikaz metoda dan je i u *Kolthoff-Elving*, *Treatise on Anal. Chem.* (69).

Sav naprijed navedeni materijal služio je kao podloga pri sastavljanju ovog prikaza, ali reference koje su ovdje navedene većinom nisu obuhvaćene u prikazima spomenutih autora.

GUBICI CEZIJEVIH SOLI KOD PRIPREME I OBRADU UZORAKA

Prije nego što se počnu obrađivati uzorci treba poznavati svojstva različitih cezijevih soli. Već je dugo poznato da su alkalni kloridi veoma topljivi. Hlapljivost cezijeva klorida viša je od hlapljivosti svih alkalija, tako da je omjer hlapljivosti $KCl : RbCl : CsCl = 1 : 1.56 : 37.2$. Budući da se pri određivanju cezija u uzorcima biosfere uglavnom provodi suho spaljivanje, prikupljeni su podaci o hlapljivosti cezijevih soli spaljenih kod $400-700^{\circ}C$. Gubici cezija u ovisnosti od temperature spaljivanja kod pojedinih soli idu ovim redom:

sulfat < karbonat < fosfat < nitrat < klorid .

Prema temperaturnom minimumu (112) kod koga praktički i nakon 48 sati ne dolazi do gubitaka, možemo cezijeve soli podijeliti u dvije grupe: minimum hlapljivosti je za sulfate i karbonate kod $600^{\circ}C$, a kod $500^{\circ}C$ za kloride, nitrata i fosfate. Procenualno gubici cezija u solima iznose 8% za Cs_2SO_4 do 100% za $CsCl$. Termogravimetrijskim ispitivanjem taložnih spojeva cezija nađene su optimalne temperature za sušenje cezijevih soli. Te temperature iznose za: klorid $100-877^{\circ}C$, sulfat $105-876^{\circ}C$, perklorat oko $611^{\circ}C$, kloroplatinat $200-409^{\circ}C$, klorostanat $130-344^{\circ}C$. Moguće je vagati i raspadni produkt cezijeva kobaltinitrita kao spoj: $CoO_3 + CsNO_3$, dobiven kod $219-484^{\circ}C$ (113). Kod praktične primjene spomenutih podataka u srijskim analizama, pokazalo se da u prisustvu alkalija (koje obično dolaze sve zajedno), fosfata i silikata nema gubitaka cezija kod temperatura od $450^{\circ}C$.

Osim gubitaka pri spaljivanju uzorka, dolazi kod pojedinih vrsta analiza do znatnih gubitaka cezija u toku kemijske obrade. Oko 0.6–1.0% cezija adsorbira se pri taloženju hidroksida, 0.11–0.18% na kalcijevu karbonatu. Kod uklanjanja amonijevih soli gubi se 0.1–1.6% prskanjem ili volatilizacijom, bilo suhom ili mokrom metodom. Do tih gubitaka dolazi kod količina od nekoliko miligrama cezija, slučaj kod radio-kemijske analize uz dodatak nosača. Gubici kod pojedinih metoda, počevši od perklorata, mogu iznositi od 1.8–25,3%, pa preko kobaltinitrata, gdje se zadržava navodno svega 35–65% cezija u frakciji s kalijem, do metode s kloroplatinatom, gdje gubici iznose od 1.0–12%, ovisno o omjeru Na : K u uzorku (148).

SISTEMATIKA ANALITIČKIH METODA KVANTITATIVNOG ODREĐIVANJA SADRŽAJA RADIOAKTIVNOG I STABILNOG CEZIJA

Kemijske metode za kvantitativno određivanje cezija mogu se podijeliti u nekoliko grupa:

1. gravimetrijske metode
2. volumetrijske metode
3. spektrokemijske metode
4. iono-izmjenjivačke metode
5. adsorpcione metode
6. ekstrakcione metode

Posljednjih su godina, s razvitkom radiokemijskih metoda uporedo razrađene gama-spektrometrijske metode, kako bi se olakšalo određivanje cezija u uzorcima s niskom aktivnošću i malim brojem radioaktivnih kontaminanata. U tom se slučaju ne provodi radiokemijsko odvajanje cezija nego se do rezultata dolazi direktnim mjerenjem aktivnosti uzorka bez ikakve prethodne obrade ili se prethodno izvrši spaljivanje uzorka da mu se smanji volumen. Rezultati se izračunavaju iz spektara. To su neki uzorci biosfere, kao npr. mlijeko, pšenica i čitav niz drugih prehrambenih proizvoda.

Kod uzoraka stijena, morske vode i tla, dosta se često primijenjuje aktivaciona analiza za određivanje količine neaktivnog cezija, koji se drugim spektrokemijskim metodama teško određuje.

U rijetkim slučajevima primijenjuje se masena spektrometrija fisionih produkata (94).

PRIKAZ METODA

U prikazu se raspravlja o spojevima koji mogu poslužiti za taloženje cezija.

*Gravimetrijske metode**Halogeni spojevi*

Od velikog broja poznatih spojeva cezija s halogenima, praktično se upotrebljavaju svega nekoliko njih za gravimetrijsko određivanje.

Kloroplatinati. Heksakloroplatinatna kiselina (33, 46, 54, 95, 105, 111) bila je prvi reagens za određivanje cezija. Talog cezijeva heksakloroplatinata služi kao reagens za određivanje platine. H_2PtCl_6 se i danas upotrebljava za odjeljivanje Cs^{137} od drugih prisutnih aktivnosti kod fisionih produkata, ozračenog ili biološkog materijala. Taloži se u zadnjoj fazi nakon uklanjanja ostalih radionuklida, a metoda se temelji na različitoj topljivosti pojedinih alkalnih kloroplatinata. Talog cezijeva heksakloroplatinata pretaložuje se nekoliko puta. Talog se suši do konstantne težine na 200–400° C, važe i broji kao beta ili gama emiter.

Perklorati. Talog $CsClO_4$ (12, 33, 44, 46, 54, 105) je slabo topljiv u vodi, alkoholu i u smjesi alkohola i solne kiseline. Manje je topljiv od $KClO_4$. Može se taliti sa sodom i salitrom ili, još bolje, s hidrazinsulfatom. Talina je topljiva u vodi. Kod fisionih produkata u kojima nema kalija dodaje se perklorat, upari, centrifugira, pere etanolom, otopi u vodi, odijele se ostale aktivnosti dodavanjem željeza i ponovo taloži perkloratom. Talog se vagne, suši i mjeri aktivnost. Kemijsko iskorištenje iznosi oko 64%. U prisustvu drugih alkalija nema neke prednosti pred drugim reagensima zbog eventualne manje topljivosti. Netopljiv je samo u etilnom acetatu, zato se nikad ne taloži samo jednostepenom separacijom. Taloži se kao konačni talog za brojač. Tom se metodom određuje Cs^{137} u ozračenim polifenolima uz dalju obradu. Na taj se način odjeljuje od teških alkalinih metala u mineralima, ali uz prethodnu i naknadnu obradu.

Bromostanat. Upotrebljava se kao sredstvo za taloženje cezija rjeđe od klorostanata. Cezijev bromostanat (105) veoma je topljiv. Odgovarajuća kalijeva sol teško nastaje.

Klorostanat. Cezij se taloži s klorostanatom sam u prisustvu do 200 mg kalija ili natrija. Cs_2SnCl_6 (46, 47, 69, 86, 111) netopljiv je u etilnom alkoholu, a topljiv u vodi i vinskoj kiselini. Za tačno određivanje potrebno je prije taloženja ukloniti sve amonijeve soli. Dodatkom koncentrirane dušične kiseline uklone se amonijeve soli uparavanjem i zagrijavanjem do volatilizacije.

Pri određivanju cezija u fisionim produktima, dodaju se potrebni nosači. Radionuklidi koji smetaju uklone se dodavanjem Fe^{3+} . Filtrat se zakiseli solnom kiselinom i doda se etanol, pa se cezij taloži s klorostanatom. Talog se otopi tri do četiri puta i ponovo istaloži, kako bi se postigao što bolji faktor dekontaminacije cezija od drugih prisutnih aktivnosti. Suši se važe i broji. Kemijsko iskorištenje metode iznosi 68%.

Antimon triklorid. Cezij se taloži kao $2 \text{SbCl}_3 \times 3 \text{CsCl}_3$, a daje slabo topljivu sol (6, 46, 105). Najbolje se taloži u solnokiseljoj sredini. Prvi puta je ispitan kod radiokemijske analize uz veoma nisko iskorištenje. Metoda je neupotrebljiva u prisustvu amonijevih soli.

Antimon željezni klorid. Ima prednost kao taložno sredstvo za cezij, jer je mnogo manje topljiv od cezijeva antimonklorida (195).

Jodostanat. Upotrebljava se za kvalitativno određivanje cezija (105). Taloži se kao Cs_2SnJ_6 . Kalij se ne taloži.

Srebrni jodid i olovni jodid. Služe za kvalitativno određivanje cezija. Oba daju igličaste kristale sastava $2 \text{AgJ}_3\text{S}_3$, 2NaJCsJ , žute boje. Olovni acetat i kalijev jodid daju žuto-zelene kristale sastava $\text{Cs}(\text{PbJ}_3)$.

Bizmut jodid. Stvara s cezijem dovoljno netopljiv spoj pa se može preporučiti kao specifičan reagens na cezij. Ni jedan drugi alkalni metal ne stvara spoj s bizmutjodidom. Upotrebljava se pri određivanju cezija u uzorcima fall-outa (23, 39, 46, 61, 95, 105).

Dobiva se na dva načina:

1. Iz Bi_2O_3 ili BiJ_3 i CsJ i HJ

ili

2. iz $\text{CsCl} + \text{KBiJ}_4$

u prisustvu ledene octene kiseline. Kristali su krvavo crveni, slabo su topljivi u vodi, alkoholu i eteru, a topljivi su u smjesi etilnog alkohola i etera ili u mnogo vode uz zagrijavanje, te u solnoj i razrijeđenoj octenoj kiselini. U koncentriranoj solnoj kiselini nisu topljivi. Dvosol ne sadržava kristalnu vodu, a tačna formula je $\text{Cs}_3\text{Bi}_2\text{J}_9$. Reagens za taloženje treba dodati u dvostrukom ili trostrukom stehiometrijskom višku. Kod radiokemijske separacije postiže se taloženjem Cs^{137} visoki faktor dekontaminacije ($\times 10^4$). Jednostruko taloženje direktno ili u kombinaciji s nizom separacija dovoljno je za uzorke fall-outa. Talog se suši na $140\text{--}160^\circ \text{C}$ i broji. Upotrebljava se u kombinaciji s kloroplatinskom metodom pri određivanju stabilnog cezija u morskoj vodi.

Heteropolikiseline. Heteropolikiseline (71, 82, 83) su produkti nemetalnih i metalnih kiselina, obično slabih ili srednje jakih, npr. borne, silicijeve, fosforne, arsenske, telurne s wolframskom, molibdenskom, vanadijevom itd. Nepostojane su u prisustvu hidroksilnog iona i raspadaju se u metalnu i nemetalnu kiselinu. Omjer nemetalne prema metalnoj obično iznosi 1 : 12, 1 : 5, 1 : 9. Heteropolikiseline čine čitav niz slabo topljivih i veoma stabilnih soli s alkalnim metalima.

Silikomolibdenska kiselina (46, 69, 105). To je najosjetljiviji reagens na cezij. Taloženjem u dušično-kiselom mediju (amonijak smeta reakciji) nastaje sol $\text{Cs}_4/\text{Si}(\text{Mo}_3\text{O}_{10})_4 \times \text{H}_2\text{O}$. Kao i većina cezijevih soli i ova je žuta. Sol je slabo topljiva. Metoda je prvobitno razrađena za dobivanje cezija iz karnalita.

Silikowolframska kiselina. Cezijev silikowolframat taloži se kvantitativno (33, 12, 46, 69, 95, 109). Kalij se, prema literaturi, ne taloži. Nastala sol je najtopljivija od svih heteropolikiselina. Najmanje je topljiva ako se taloženje vrši u solnokiselom ili sumpornokiselom mediju. Obično se uzima dvostruki ili trostruki višak reagensa od stehiometrijski potrebne količine.

Kod radiokemijske analize upotrebljava se silikowolframska kiselina za odjeljivanje cezija iz smjese fisionih produkata, bilo kao jedan od stupnjeva odjeljivanja iz ukupne mase uzorka ili kao konačni produkt $Cs_8SiW_{12}O_{42}$, sa svega 60% kemijskim iskorištenjem.

Fosfowolframska kiselina. Taloža osim cezija kalij i rubidij (37, 46, 69, 92, 95, 105). Za radiokemijsku analizu postoji nekoliko modifikacija.

1. Uzima se alikvotni dio uzorka, dodaju se nosači, grupno se odijele ostali prisutni radionuklidi, a cezij se istaloži sa $P_2O_5 \times 24 WO_3 \times 25 H_2O$. Talog se pere amonijevim nitratom, razmuti vodom i prenese na planšetu. Kemijsko iskorištenje iznosi navodno 100%. U prisustvu amonijaka potrebno je znatno manje reagensa za potpuno taloženje cezija iz 8 N dušične kiseline.

2. U fall-outu se taloži smjesa (39):



i



Metoda se temelji na izomorfnom taloženju cezija i kalija. Nakon toga se gama-spektrometrijski odredi spektar smjese cezija i kalija, a kalij se naknadno odredi još i kvantitativno.

3. Kod ionsko-izmjenjivačke tehnike se, nakon uklanjanja cirkonija i niobija pomoću anionskog izmjenjivača u eluatu taloži cezij kao fosfowolframat u sumporno-kiselom mediju. Služi za »Pilot plant« nivo dobivanja Cs^{137} u otpadnim fisionim produktima. Kontaminacija Sr, Ru, Zr, Nb i rijetkim zemljama je neznatna.

Fosfomolibdati (AMP). Taloženje amonijevim fosfomolibdatom jedna je od najrasprostranjenijih metoda za taloženje cezija (46, 137). Služi bilo kao taložno sredstvo, npr. pri određivanju Cs^{137} u hrani (65), ili kao izmjenjivač. Smeta veća količina kalija i amonijaka, te radioaktivnog rubidija, jer dolazi do kontaminacije. Stoga je potreban još jedan stupanj separacije za točno mjerenje Cs^{137} kao beta emitirera. Metoda se upotrebljava za vodu, morsku vodu (88), mlijeko i biološki materijal (118, 124, 137).

Luteokiselina. To je 9-fosfomolibdenska kiselina. Daje žute kristale sa cezijem (kao i većina drugih cezijevih soli). Ne taloži kalij. Talog cezija nema određen sastav pa ga treba otopiti i, nakon uklanjanja molibdena sumporovodikom, cezij se u filtratu odredi jednom od poznatih metoda (54, 102).

Cerimolibdat. Razrađena je metoda za određivanje radioaktivnog cezija taloženjem, nakon niza separacija, kao cezijeva cerimolibdata. Taloži se amonijevim cerimolibdatom $[3 (\text{NH}_4)_2 \text{CeO}_2 \times 12 \text{MoO}_3 \times \text{H}_2\text{O}]$.

Sulfati

Cirkonijev sulfat. Stvara s kalijem, rubidijem i cezijem soli tipa $\text{MeO}_2\text{ZrO}_2 \times 2 \text{SO}_4$ s promjenljivim sastavom kristala. Sumnja se u kvantitativno taloženje cezija (105).

Amonijev alaun (46, 91, 96, 105) čini s alkalnim metalima soli tipa $\text{MeSO}_4 \times \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \times 24 \text{H}_2\text{O}$, koje se razlikuju različitom topljivošću. Najmanje je topljiv $\text{CsAl}(\text{SO}_4)_2 \times 12 \text{H}_2\text{O}$, i to kod 80°C svega 8,26%. Najtopljiviji je $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \times 12 \text{H}_2\text{O}$, a iznosi kod 80°C 76,2%. Dvo-soli alauna, jednog od prvih međuprodukata pri industrijskom odjeljivanju rubidija od cezija iz lepidolita, su smjesa K, Rb i Cs. Metoda separacije Cs^{137} amonijevim alaunom primijenjena je pri odjeljivanju Cs^{137} iz industrijskih radioaktivnih otpadnih produkata. Za taloženje cezija dodaje se 15 g amonijeva alauna $(\text{NH}_4)_2\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \times 24 \text{H}_2\text{O}$, na svakih 20 mg cezija. Cezijev alaun se nakon kristalizacije grije na $450\text{--}550^\circ \text{C}$ do volatilizacije amonijevih soli, otopi u solnoj kiselini i pretaloži kao kloroplatinat. Nedostatak metode se sastoji u tome, što je nužno uklanjanje velike količine amonijevih soli zagrijavanjem, a to je nezgodno za laboratorijsku operaciju.

Bizmut sulfat (105). Cezij se taloži u sumpornokiselom mediju. Metoda je kvalitativna.

Natrijev bizmutni tiosulfat. To je reagens na kalij, rubidij i cezij. Bizmutnitrat u solnokiselom mediju daje s natrijevim tiosulfatom sa svim alkalnim solima žuto-zelene igle.

Spojevi bizmuta i nitriti

Sve soli bizmuta stvaraju teškoće pri taloženju, jer bizmut hidrolizira već u neutralnim otopinama, pa se pri taloženju treba tačno držati propisane pH vrijednosti medija.

Bizmut nitrit (33, 46, 69). Prema nekim autorima sastav mu je $\text{Cs}_2\text{Na}[\text{Bi}(\text{NO}_2)_6]$, a prema *Gmelinu* $\text{Cs}_3[\text{Bi}(\text{NO}_2)_6]$. Taloži se kao žuta sol u slabo dušično-kiselom mediju. Kalij se ne taloži tim reagensom.

Srebrni bizmutnitrit (59, 60, 61). Cezijev srebrni bizmutnitrit daje u kiselom mediju sličnu reakciju kao i cezijev bizmutnitrit; kalij se ne taloži. Metoda se primjenjuje pri određivanju radioaktivnog cezija u morskoj vodi, ali je ispitana količina uzorka od svega 1 litre morske vode. Cezij se taloži kao $\text{CsNaAg}[\text{Bi}(\text{NO}_2)_6]$ u prisutnosti 250 puta veće količine kalija.

Natrijev lantaninitrit. Cezij se taloži kao $\text{Cs}_2\text{Na}[\text{La}(\text{NO}_2)_6]$ u prisutstvu viška kalija. Talog se ispiru metilnim alkoholom (105).

Kobaltinitrit. Cezij se taloži kao cezijev kobaltinitrit, i to stabilan i radioaktivan (46, 69, 105). Potpuno se istaloži tek nakon 12 sati stajanja. U morskoj vodi taloži se ispod 19°C . Talože se i velike količine kalija, što povećava gama fon. Cezij pada uz koprecipitaciju kalija (do $\frac{1}{3}$ od ukupno prisutnog kalija), iskorištenje je 80–99% od ukupne količine prisutne u morskoj vodi. Od ostalih kobaltinitrita poznati su: $\text{CsPb}[\text{Co}(\text{NO}_2)_6]$ i $\text{Cs}_2\text{Ag}[\text{Co}(\text{NO}_2)_6]$ (107). Sa ta dva reagensa taloži se cezij većinom kod radioaktivnih padavina i riječnih voda. Za brže koaguliranje taloga dodaje se 1% želatine. Ta metoda vrijedi za uzorke kojima se dodaje nosač.

Dipikrilamin

To je heksanitrodifenilamin. Cezij je deset puta osjetljiviji na reagens od kalija (46, 69, 105, 143). Taložuje se kao $\text{Cs}[\text{C}_6\text{H}_2(\text{NO}_2)_3\text{N}(\text{C}_6\text{H}_2\text{HO}_2)^3]$, i to u neutralnom ili slaboalkalnom mediju. Tada je najmanje topljiv. Talog se pere etilnim alkoholom i eterom i suši kod $80\text{--}90^\circ\text{C}$. Iskorištenje iznosi 82–92%. U smjesi fisioh produkata dolazi do veće kontaminacije pri taloženju cezija, pa treba ostale fisioh produkte najprije ukloniti nekom od radiokemijskih metoda. (Vidi dalje kod ekstrakcije.)

N,N,-dimetiletanolamoniorotat

Novi je reagens na cezij. Ispitani su uvjeti taloženja na količinama od 20 do 100 mg cezija u vodenoj otopini (5). Talog se važe.

Borati

Fluoroborat. Cezij se taloži kao CsBF_4 (87) u otopini voda – etilni alkohol. Istovremeno se talože i ostale alkalije. Cezij se taloži u četverostrukom stehiometrijskom višku. Talog se suši do konstantne težine.

Tetrafenilborat (Kalignost). Cezij se taloži sa NaTPhB u slabokiselom mediju. Reakcija nije specifična za cezij, jer se talože i kalij, talij i amonijeve soli. Formula nastalog spoja je $\text{Cs}(\text{C}_6\text{H}_5)_4\text{B}$. Pri određivanju produkata fisije provodi se, nakon dodavanja nosača, ili direktno taloženje tetrafenilboratom, pa se zatim kasnije prečišćava ponovnim taloženjem, ili se grupno odijele ostali radionuklidi, a cezij se istaloži na kraju. Kemijsko iskorištenje, prema različitim autorima, varira od 66–75% (45, 105, 110).

Tetrakis p-klorofenilborat. To je novi reagens za alkalne metale i amonijak. Ispitane su vodene otopine. Taloži se cezij. Određuje se zasad samo gravimetrijski. Provedeni su preliminarni pokusi na cezijevim solima (15).

Trifenilcianoborat (Cezignost). Novi reagens, specifičan za cezij. Kalij se u malim količinama ne taloži. Taloži se talij, srebro, bakar i cezij. Cezij daje spoj $\text{Cs}[\text{C}_6\text{H}_5)_3\text{B}(\text{CN})]$. Reakcije su mu do sada samo djelomično ispitane (52). Primijenjen je za određivanje Cs^{137} u uzorcima tla, morske vode i lucerne (6). Smeta prisustvo većih količina amonijaka.

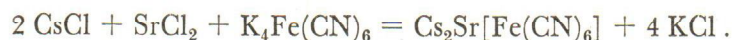
Cijanidi teških metala

Ispitivani su detaljno u SAD kao reagens za industrijsko dobivanje Cs^{137} i u laboratorijskim razmjerima u SSSR (129, 131, 132, 137). Razrađen je niz metoda s ferocijanidima i fericijanidima.

Ferocijanidi daju sa cezijem čitav niz kompleksnih spojeva (7, 8, 35, 46, 57, 70, 72, 105). To je ujedno najosjetljivija reakcija na cezij. Soli su obično slijedećeg sastava:



gdje Me^{II} može biti Ca, Mg, Sr, Cu, Ni itd., no za taloženje cezija najčešće se upotrebljava nikaljni ferocijanid. Taloži se kao $\text{Cs}_2\text{Ni}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]_2$. Pri određivanju cezija-137 u morskoj vodi pokušano je u isto vrijeme taložiti cezij i stroncij. Dodaju se oba nosača i taloži po slijedećoj reakciji:



Dodaje se amonijev klorid, da se istaloži magnezij umjesto stroncija. Zatim se dodaje natrijev karbonat, da se istaloži dio stroncija kao karbonat. Stroncij i cezij u smjesi odjeljuju se obradom sa 0,5 N solnom kiselinom. Iskorištenje metode varira između 49–100% za količine od nekoliko litara morske vode. Poznata je metoda za određivanje niskih koncentracija Cs^{137} u morskoj vodi i nikaljnim ferocijanidom (93). Kompleksi ferocijanida i fericijanida mogu služiti i kao ionski izmjenjivači. (Vidi kromatografiju pjene.)

Kobalticijanidi. Osim ferocijanida i fericijanida razrađen je čitav niz metoda za taloženje cezija različitim kobalticijanidima. I ti kompleksi mogu poslužiti kao ionski izmjenjivači (28, 80, 107).

Uolumetrijske metode

Direktne kompleksometrijske titracije. Posljednjih godina razrađeno je nekoliko metoda za određivanje cezija kompleksometrijskim titracijama.

1. 10–250 mg cezija istaloži se natrijevim kobaltinitritom, otopi se HC i neutralizira amonijakom do pH 7–8, doda NaHCO_3 i NH_4SCN , te istu količinu acetona i titrira s kompleksonom III (19).

2. Cezij se taloži najprije kao perklorat (127), otopi se, kloridi se istalože, a cezij se titrira uz mureksid kao indikator.

Indirektna metoda. Cezij se istaloži silikomolibdenskom kiselinom. Cezijev silikomolibdat se otopi, molibden taloži olovnim acetatom kao olovni molibdat, a u otopini se titrira višak olova kompleksonom III uz ksilenol-oranž kao indikator kod pH-6.

Spektrokemijske metode

Pri određivanju stabilnog cezija upotrebljavaju se spektrokemijske metode, gdje god je to moguće zbog niskog ekscitacionog potencijala cezija.

Spektrografska analiza. Cezij su spektrografski pronašli u mineralnim vodama *Bunsen* i *Kirchhoff* 1860. god. (69). Spektralne linije koje se upotrebljavaju su 4555 Å i mnogo osjetljivije crvene linije 7521 i 8943 Å. Spektrografska analiza radi se pri određivanju cezija u rudači, posebno uranovoj rudači, silikatima, staklu itd. Prikaz metoda daju *Borovik* i *Romanova* (13). Tačnost metoda iznosi od 1–5%, a granica određivanja je 1–8 p. p. m. Kao unutarnji standard za određivanje cezija, preporučuje se natrij. Donja granica detekcije iznosi 0.1 p. p. m. Prisutnost kalijevih para u luku stabilizira temperaturu, volatilizacija povećava osjetljivost luka i smanjuje efekt različitih količina kalija i natrija u prirodnim uzorcima. U novije vrijeme upotrebljava se i difrakcioni spektrograf s rešetkom za određivanje tektita (4).

Fotometrija plamena. Cezij se vrlo lako određuje fotometrijom plamena zbog izuzetno niskog ekscitacionog potencijala. Fotometrija plamena primjenjuje se pri određivanju cezija u vodi, mineralima, zemnom ulju, silikatima i staklu (13, 18, 20, 69). Materijal se prije obradnje mora raščiniti i koncentrirati. Jedna od metoda za određivanje silikata daje propis za raščinjavanje, koncentriranje cezija na cirkonijevu fosfatu, a tek nakon eluiranja mjeri se cezij fotometrijom plamena (99).

Razrađena je metoda (30) za određivanje Cs na 852 $m\mu$ i K na 767 $m\mu$ uz osjetljivost od 10^{-3} % i nađene su optimalne koncentracije kalija, dodanog uzorcima za stabilizaciju ionske ravnoteže u plamenu. Ispitan je utjecaj interferencije kalija i rubidija (115). Općenito se iz pojedinih

radova vidi da je pri određivanju cezija fotometrijom plamena znatan anionski efekt te da intenzitet eksicitecije alkalnih metala znatno opada u prisustvu fosforne, molibdenske i wolframske kiseline.

U mineralima (25) se cezij najprije taloži u sumporno kiselom mediju kao silikomolibdat, da bi se odijelio od velikih količina kalija, talog se otopi i odredi na fotometru plamena. Kalij dodan u malim količinama povećava intenzitet emisije, ali rubidij i kalij iznad koncentracija od 2500 p. p. m. daje fon koji sprečava određivanje cezija.

Od metoda razrađenih za cezij zanimljiva je metoda u vodama naftonosnih polja (17). Cezijev tetrafenilborat se ekstrahira iz uzorka nitroetanom. Nitroetanska faza dolazi u plamen i mjeri se intenzitet linija rubidija na 780,0, 794,8 m μ i cezija na 852,1 i 894,4 m μ . Za kontrolu ekstrakcije radi se radioobilježivačka metoda dodavanjem Cs-137 i Rb-86.

Raščinjavanje minerala za fotometriju plamena radi se obično fluorovodičnom i sumpornom kiselinom.

Atomna apsorpciona plamena fotometrija

Razrađena je metoda za određivanje cezija u smjesi alkalnih metala (108).

Spektrokemijske i kolorimetrijske metode

Većina kolorimetrijskih metoda za određivanje cezija temelji se na indirektnom određivanju cezija iz taloga ili u filtratu nakon taloženja (48). Najprikladniji reagensi za kolorimetrijsko određivanje cezija su heteropolikiseline (148). To su silikomolibdenska i silikowolframska kiselina. Talozi cezijeva silikomolibdata i silikowolframata se otope i fotometriira wolfram, odnosno molibden (74). Druga mogućnost kolorimetrijskog određivanja opisana je (62) za određivanje cezija u morskoj vodi. Najprije se taloži Cs₃Bi₂J₉, a zatim se cezij odredi indirektno fotometriranjem bizmutova ditizononata kod 505 m μ (62).

Ekstrakcione metode

Pri određivanju fisionih produkata, sve češće se upotrebljavaju i ekstrakcione metode za odjeljivanje pojedinih izotopa cezija iz ukupne mase fisionog produkta.

Monobutilfosfat i dibutilfosfat. Iz smjese fisionih produkata ekstrahira se cezij¹³⁷ 20%-tnim mono- ili dibutil fosfatom u hidrirani kerozin (150).

Tetrafenilborat. Kod $\text{pH} = 6$ cezijev tetrafenilborat se ekstrahira u organsku fazu amilacetatom. Operacija se dva puta ponovi i cezij se odjeljuje iz amilacetata pranjem sa 2 N solnom kiselinom i broji. Preporučuje se i ekstrakcija CsTPhB nitrobenzenom (63, 64). Tom se metodom odjeljuje cezij bez nosača od francija (51).

Tenoiltrifluoroaceton. Tek nedavno pošla je za rukom ekstrakcija cezija s TTA, jer nije bilo moguće spriječiti hidrolizu kod alkalnih pH . Otkad se ekstrakcija cezija provodi smjesama TTA-nitrometan ili TTA-nitrobenzen, reakcija se odvija bez teškoća. Male količine litija znatno pridonose poboljšanju ekstrakcije cezija tenoiltrifluoroacetonom (18).

Talijev dipikrilaminat. Nakon odjeljivanja svih prisutnih fisionih produkata cezij se taloži talijevim dipikrilaminom, ekstrahira metilizobutilketonom, upari do suha i broji.

Dipikrilamin. Cs^{137} ekstrahira se iz alkalnog medija kao cezijev dipikrilaminat nitrobenzenom. Reekstrakcija cezija iz organske faze postizava se promjenom pH (79).

Druga metoda temelji se na kombinaciji ionske izmjene i ekstrakcije. Cezij se koncentrira iz velike mase uzorka na jako kiselom kationskom izmjenjivaču (Katex S). Cezij se eluira s kolone 6 N solnom kiselinom, zatim se odijeli od ostalih aktivnosti koprecipitacijom kalijevim ferocijanidom (8), otopi u zasićenoj EDTA kod $\text{pH} = 10$ i zatim ekstrahira cezij kao dipikrilaminat nitrobenzenom. Ekstrakcija dipikrilaminata cezija nitrobenzenom radi se pri određivanju cezija u kišnici.

Bizmut jodid. U smjesi fisionih produkata taloži se cezij kao CsBiJ_4 , a ekstrahira se iz veoma kiselih otopina nitrobenzenom, metilcikloheksanonom ili acetilacetonom (76, 77). Na taj se način određuje Cs^{137} u riječnoj i vodovodnoj vodi.

Nitrobenzen. Nitrobenzenom se mogu ekstrahirati različiti spojevi cezija, i to CsTPhB, polijodidi i molibdofosfati (73, 75, 76, 77, 78, 79). Pretpostavlja se da za vrijeme ekstrakcije dolazi do interakcije iona nitrobenzena i cezija. Ekstrakcija Cs i Rb vrši se i 4 sek-butil (alfa metil benzilfenolom) (114).

Adsorpcione metode

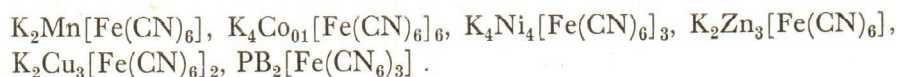
Adsorpcija (u ruskoj literaturi sorpcija) cezija može se vršiti na kremenu, glinama, montmorilonitu (133), vernicullitu, černožjumu, a najslabije na kaolinitu (16, 68). Količine adsorbiranog cezija kreću se od 10^{-9} do 10^{-2} cezija. Dolazi do ionske izmjene cezija u materijalu (135). Tako se određuju fisioni otpadni produkti. Radi se i s gabrom sa 45–55% SiO_2 (135). Desorpcija cezija s gabra traje 8 dana, a radi se vodom.

Kromatografija pjene (Naziv je preuzet iz ruske literature.)

1. Iz smjese cezija, niobija, rutenija i cera odvaja se cezij pjenastom kromatografijom (109). Stvaralac pjene je 1% želatina, a nosač je koloidni manganov dioksid. Optimalni pH odvajanja cezija iznosi 6.

2. Drugi način adsorpcije cezija vrši se iz vodenih otopina smjesom ferocijanida teških metala, pa se iza toga kruta faza odjeljuje stvaranjem pjena.

Od ferocijanida se najčešće upotrebljavaju:



Jedino posljednji spoj ne sadržava kalij. Ti talozi ferocijanida ovise o svojstvima alkalija, a ne o prirodi teškog metala koji ulazi u molekulu. Talože se ovim redom:



Kod radiokemijske analize suspenzija se nakon dodavanja cezijeva nosača centrifugira i kao koagulans se dodaje višak ferocijanida ili 1% želatina. Optimalni radni uvjet je: pH = 5. Vrijeme adsorpcije cezija iznosi svega 3 minute uz prodivavanje zraka i pjenjenje. Iskorištenje metode u prisustvu koagulansa iznosi 98%. Ako se namjesto prodivavanja zraka primijeni centrifugiranje, iskorištenje je znatno niže. Koloidi ferocijanida djeluju za vrijeme reakcije kao stabilizatori želatinozne pjene.

3. U novije vrijeme ispitana su adsorpciona svojstva $\text{Fe}(\text{OH})_3$ i uvjeti u kojima dolazi do adsorpcije cezija na hidroksid (67).

Iono-izmjenjivačke metode

Do sada je razrađen čitav niz iono-izmjenjivačkih metoda za određivanje cezija u radioaktivnim padavinama, riječnim i jezerskim vodama, te otpadnim vodama (121).

Najopširniji prikaz iono-izmjenjivačkih metoda dali su *Finston* i *Kingsley* (31) i *Yamagata* (148). Stoga su u ovom prikazu obuhvaćene samo metode koje se ili znatno razlikuju od do sada navedenih ili se odnose isključivo na uzorke radioaktivnosti biosfere.

Većina iono-izmjenjivačkih metoda razrađenih za separaciju cezija od ostalih alkalnih metala radi s kationskim izmjenjivačima (69). Anionski izmjenjivači ne djeluju na alkalne metale, osim uz tačno održavanje radnih uvjeta (106). U pravilu se upotrebljavaju kod grupne separacije alkalnih metala od molibdata, wolframata, fosfata u jakom bazičnom izmjenjivaču.

Anionski izmjenjivači (143). Upotrebljavaju se kod separacije rubidija od cezija; eluens je metilni alkohol i dušična kiselina. Eluira se cezij (129, 149). Dowex-3 (CO_3^-). Cezij se eluira s kolone sa prvih 3 ml vode. Eluat se upari do suha, prevede u kloride i mjeri masenim spektrometrom (106).

Kationski izmjenjivači. Broj do sada objavljenih metoda je veoma velik (90).

1. Kationski izmjenjivač KU-2 sovjetske proizvodnje separira alkalne metale jedan od drugoga. Cezij se eluira solnom kiselinom i etanolom. Optimalna koncentracija solne kiseline iznosi 20%. Tom se metodom uklanja Cs^{137} iz kišnice i tekućih voda.

2. Diaion SK-1 (H^+). Eluens za cezij je solna kiselina. Odjeljuje se rubidij od cezija (89).

3. Dowex-50-X 8. Cezij se eluira sa 0,2–1 N HCl. Odjeljuje se rubidij od cezija (58).

4. Amberlite CG (H^+), 100–200 mesha. Kroz kolonu se propušta smjesa radionuklida. Natrij i kalij se eluiraju solnom kiselinom, a cezij amonijevim kloridom (29).

5. Katex S (češki izmjenjivač). Njime se koncentriraju Cs^{137} iz kišnice (7).

6. Kondenzacioni produkti ligninsulfonske kiseline: primijenjeni su za uklanjanje Cs-137 i Sr-89 iz otpadnih fisionih produkata (120).

Netopljive soli i zeoliti

Organskim je smolama glavni nedostatak što nisu uvijek otporne prema zračenju. Zato se posljednjih godina često upotrebljavaju netopljive soli koje sadržavaju polivalentni anion: fosfati, molibdati, wolframati (82), arsenati cirkonija kao kationski izmjenjivači. Netopljivi hidroksidi teških metala Ti, Zr, Th i Sn, već prema uvjetima rada, upotrebljavaju se bilo kao kationski ili kao anionski izmjenjivači.

Zeolit FF (NO_3^-) s promjerom zrna od 300 mesha, upotrebljava se za separiranje Rb^{86} od Cs^{137} , eluira se sa 4,78 M HNO_3 i metanolom ili butanolom. Eluira se 0,5 μg cezija u prisustvu 100 puta veće količine rubidija (149).

Cirkonijev fosfat. Promjer zrna od 78 mesha, adsorbira cezij iz 0,1 N dušične kiseline, a propušta višivalentne katione. Iz koncentrata koji sadržava aluminij, željezo i uran otopljene u 0,1 N HNO_3 ; cezij se adsorbira manje efektivno i praktički prolazi kroz kolonu. Snižavanje adsorpcije cezija tumači se konkurencijom aluminijskih i željeznih, ako su prisutni u velikim količinama (53).

Fosfowolframska i silikowolframska kiselina. Kolona se puni suspenzijom termolit azbesta u 1 M amonijevom nitratu. Kroz kolonu se zatim pro-

pušta fosfowolframska (ili SiW) kiselina i amonijev nitrat. Nakon toga se uvodi Rb^{86} i Cs^{134} uz male količine nosača (10^{-4} , 10^{-6} g.) Adsorpcija cezija na samom azbestu je minimalna, a ispire se destilat. Eluiranje rubidija i cezija s kolone punjene fosfowolfratom najbolje se vrši 6 M amonijevim nitratom. Vrijeme eluiranja iznosi 40–50 minuta (82).

AMP. Amonijev fosfomolibdat se sve češće primjenjuje pri određivanju cezija (32, 88). Većinom se upotrebljava pri određivanju cezija u morskoj vodi, a razrađena je i metoda za tlo (35).

a) Često se radi »Batch« metodom, jer je koeficijent distribucije za cezij 100 puta veći nego kod organskih izmjenjivača.

b) Drugi način je taj da se kolona puni sa AMP, a nakon eluiranja cezija s kolone, cezij se adsorbira na cirkonijev fosfat, s kojeg se zatim eluira solnom kiselinom. Tom se metodom odjeljuju otpadni fisioni produkti (122) i cezij 137 u krvi (147).

Papirna kromatografija i elektroforeza

Papirna kromatografija upotrebljava se za odjeljivanje malih količina alkalnih metala jednog od drugoga (69, 83). Nedostatak metode je taj što maksimalna količina koju na taj način možemo odrediti iznosi 100–200 μ g. Kako je sam način rada jednostavan, razrađen je niz metoda za odjeljivanje cezija 137 u fisionim produktima.

I ovdje se često upotrebljava AMP za separaciju alkalnih metala. Razrađena je metoda uzlaznom kromatografijom (1). AMP se otopi u amonijaku, papir se provuče kroz tu otopinu i suši. Kromatogrami se dobiju nakon 2–3 sata. Cezij i rubidij ostaju na početku trake. Ostali alkalni metali daju različite R_f vrijednosti. Maksimalno se može separirati 5 alkalnih metala.

Elektroforeza. Do sada se rijetko upotrebljavala za odjeljivanje cezija od ostalih fisionih produkata, budući da se elektroforetska pokretljivost rubidija, cezija i kalija vrlo malo razlikuje. Odjeljivanje jednog od drugoga zahtijeva vrlo visoki napon. Razrađena je metoda za odjeljivanje starih fisionih produkata (80, 123).

Gama-spektrometrijske metode

Posljednjih se godina Cs^{137} sve češće određuje gama-spektrometrijom. Te metode su specijalno razrađene za određivanje veoma niskih aktivnosti u uzorcima biosfere (27). Cezij se mjeri bilo direktno na uzorku bez prethodne obrade ili nakon spaljivanja na 400° C. To je moguće kod uzoraka živežnih namirnica koje ne sadržavaju nikakvu drugu gama aktivnost osim Cs^{137} i K^{40} u niskim koncentracijama (34). Takvi uzorci su: mlijeko, meso, pšenica, krumpir, mahunarke itd. Kod

uzoraka koji sadržavaju još i kratkoživuće ili dugoživuće fisione produkte, postoji niz metoda rješavanja simultanih jednadžbi, tako da se spektri određuju računskim putem, bez kemijske separacije. Takvih računskih metoda ima više, a razrađene su za najviše četiri fisiona produkta u istom uzorku. Mjerenje se vrši jednokanalnim ili višekanalnim analizatorima, s kristalima NaJ (Tl) ili scintilacionim gelima (41, 43, 49, 66).

Aktivaciona analiza

Aktivaciona analiza primjenjuje se za određivanje vrlo niskih količina stabilnog izotopa cezija u uzorcima morske vode (146), stijena (124), živežnih namirnica, ljudske krvi (103). Prednost metode je visoka osjetljivost, mala vjerojatnost kontaminacije nečistoćama, do čega može doći kod optičkih metoda. Uzorak se zrači ili bez prethodne obrade, ili nakon koncentriranja. Pošto je uzorak ozračen, dalje odjeljivanje radioaktivnog cezija vrši se radiokemijskom analizom. Konačno određivanje vrši se mjerenjem aktivnosti. Količina uzorka potrebna za analizu varira od 6 μg za sedimentne stijene do 50 g za krv. Količine potrebne za određivanje cezija fotometrijom plamena su u najpovoljnijem slučaju barem 50 puta veće.

Ovaj je prikaz rađen s posebnim osvrtom na one metode za određivanje cezija kod kojih, po mogućnosti, ne dolazi do koprecipitacije kalija. To se tiče uglavnom onih uzoraka gdje je sadržaj kalija relativno nizak. Ali, te su metode selektivne uglavnom do količina ispod 1 g kalija po uzorku.

U tablici 1 su navedene taložne metode koje u određenim uvjetima odgovaraju za separaciju cezija¹³⁷ iz uzoraka biosfere.

Tablica 1.

Taložni reagensi specifični za cezij

Taložno sredstvo	Cezij	Kalij do 1 g
Nikaljni ferocijanid	+	—
Silikowolframska kiselina	+	—
Antimontriklorid	+	—
Natrijev bizmutni nitrit	+	—
Silikomolibdenska kiselina	+	—
Kalijev bizmutjodid	+	—
Cezignost	+	—

Literatura

1. *Alberti, G., Grassini, G.*: Chromatographic Separation of Alkali Metal Ions on Paper Impregnated with AMP., *J. Chromatog.*, 4 (1960) 423-425.
2. *Aleksahin, R. M.*: Radioaktivnije zagrazenije počvi i rastenii, Izdat. A.N.S.S.S.R., Moskva, 1963.
3. *Annel, Ch. A.*: A Spectrographic Method for the Determination of Cs, Rb, and Li in Tektites, *Geol. Surv. Profess. Paper*, 501 (1964) B 148.
4. *Al-Mahdi, A. A. K., Schonfeld T.*: Beobachtungen über komplexbildende Eigenschaften der Rhodizonsäure, *Mikrochim. Acta*, 1-2 (1962) 254.
5. *Babbie Nazhat, T. Wagner, W.*: Gravimetric Determination of Rb and Cs with N,N-Dimetiletonolammonium orotate, *Talanta*, 12 (1963) No. 1, 105-109.
6. *Bauman, A.*: Kemijska separacija Cs-137, Disertacija, Tehnološki fakultet, Zagreb, 1965.
7. *Beneš, J.*: Caesium-137 im Regenwasser, *Anal. Chim. Acta*, 32 (1965) 86-88.
8. *Beneš, J., Kyrš, M.*: The Isolation of Cs-137 from Liquid Radioactive Fall-out, *Anal. Chim. Acta*, 29 (1963) 564-8.
9. *Bergner, K. G., Jägerhuber, P.*: Beiträge zur schnellen Bestimmung wichtiger Radionuklide Sr-89, Sr-90, J-131, Cs-137 in Lebensmitteln u. Wasser, *Dtsch. Lebensmitt. Rundschau*, 60 (1964), No 1, 11-14.
10. *Ibidem*, 60 (1964), No 7, 207-213.
11. *Ibidem*, 60 (1964), No 8, 253-255.
12. *Bresler, S. E.*: Radioaktivnije elementi, Gosizd. Tehn. Teoret. Lit., Moskva, 1957, str. 550.
13. *Borovik-Romanova, T. F.*: Spektralj. opredeljenije redkih i rassejanih elementov, A. N. S. S. R., Inst. Geohim. i Analit. Him., (1962), 34-75.
14. *Broadbank, R. W., Hands, D. J., Harding, R. D.*: A Rapid Assay of Radioactive Caesium in Milk, *Analyst*, 58 (1963) 43-47.
15. *Cassaretto, F. P. et al.*: The Preparation and Reagent Properties of Sodium Tetrakis (p-chlorophenyl)borate, *Analyt. chim. Acta*, 32 (1965) No 4, 276-280.
16. *Clarke, J. H., Wright, T. D., Bergmann, R. J.*: Investigations into the Use of Centrifuged Bed of Verniculite for the Decontamination of Radioactive Effluent. AERE - R 4314 (1963).
17. *Collins, A. G.*: Flame Photometric Determination of Cs and Rb in Oil Field Waters, *Anal. Chem.*, 35 (1963) 1258-61.
18. *Crowther, P. Moore, F. L.*: Liquid - Liquid Extraction of Cs with 2-Tenoiltri-fluoroacetone, *Anal. Chem.*, 35 (1963) 2081-5.
19. *Cyganski, A.*: Complexometric Determination of Caesium, *Chem. Anal., Warsaw*, 9 (1) (1964) 103-5.
20. *Dean, J. A.*: Flame-Photometry, McGraw-Hill, New York, 1960, str. 111-117.
21. *Džao Džun-šun, Lju-Bo-Li*: Odjeljivanje Cs-137 iz fisionih produkata i tehničkih otopina, Prikaz, Juancizijnan 10 (1964) 940-51 (kin). *R. Ž. Him.* 12 (1965) B 417.
22. *Elkin, P. B.*: Caesium, USAEC, Rep. LA-1566, 1953, str. 159-163.
23. *Evans, B. S.*: Bismuth Iodide Method for the Determination of Caesium Activity, *Coryell and Sugarman*, 3 (1951) 1646.
24. *Evans, B. D.*: The Cobaltcyanide Ion as a Precipitant for Metal Ions, *Analyst*, 70 (1945) 158.
25. *Fabrikova, B. A.*: Flame Photometric Determination of Clarke Amounts of Caesium in Natural Materials Enriched in Potassium, *Žurn. anal. him.*, XVI, 1 (1961) 22.
26. *Farquhar, M. C., Hill, J.*: Analysis of Cs and Rb Salts and Metals, *Anal. Chem.*, 34 (1962) 222.

27. *Fedorov, G. A., Konstantinov, I. E.*: O metodike opredelenija sodržanija Cs-137 v počvah. »Voprosi dozimetriji i zaštiti izlučeniji«. Vip. 2 Gosatomizdat, 1963, 171.
28. *Feldman, C., Rains, T. C.*: Collecion and Flame Photometric Determination of Cs (in Natural Water), *Anal. Chem.*, **36** (2) (1964) 405.
29. *Ferraris, M.*: Ion Exchange Method for the Quantitative Separation of the Alkaline Earth Ions and its Application to the Determination of K, Cs-137 Ca, Sr-89 and Sr-90 in Milk, *Health Physics*, **10** (1964) 833-866.
30. *Ferraris, M.*: Determinazione di alcuni metalli alcalino-terrosi mediante spettrometria di fiamma, Applicazione nelle analisi di terreni, acque e campioni biologici con riferimento e studi di radioattività ambientale, R. T./PROT (63/13) Roma CNEN.
31. *Finston, H. L., Kingsley, T. M.*: The Radiochemistry of Caesium NAS-NS 3035 (1960).
32. *Fonseca Ribeiro de, Matos Dias de et al.*: Fosfomolibdato de amonio como permutador en determinações de Cs radioactivo nas águas de chuva, *Rev. portug. quim.*, **6** (1964) 17-21.
33. *Furman, J. M.*: Standard Methods of Chemical Analysis, Vol. I., Van Nostrand, New York, 1960.
34. *Gaglione, P., Malvicini, A., Uido, L.*: La spettrometria gamma nella determinazione dei generi alimentari, *Minerva nucl.*, **4** (1960) 262.
35. *Gaglione, P., Malvicini, A., Uido, L.*: Determinazione del Sr-90 e del Cs-137 nel suolo e nei vegetali, *Minerva Nucl.*, **4** (1960) 156-161.
36. *Gedeonov, L. I.*: Opredelenije količestv radioaktivnih veščestv v okružujuščej srede. Radiohimičeskije metodi opredelenija mikroelementov, A. N. S. S. S. R., Moskva, 1965, str. 5-16.
37. *Geiger, F. L.*: Analysis of Fission Product Mixtures, *Anal. Chem.*, **81** (1959) 806.
38. *Gelfman, L. L., Kalmikov, L.*: Opredelenije radioaktivnogo cezija ferocijanidnim sposobom, *Radiohimija*, **4** (1962) 87.
39. *Guseeva, N. G., Margulis, U. J. et al.*: Sbornik radiohimičeskikh i dozimetričeskikh metodik, Medgiz, Moskva, 1959, str. 460.
40. *Germain, G.*: Mesure de faibles activités de Cs-137 ClO₄, Sr-90 SO₄, Ag-J-131. *Bull. Soc. roy. sci. Liège* **33** (1964) 672-77.
41. *Glazov, U. M.*: Primjenjenije neskoljkih gama-radioaktivnih izotopa v radiohimičeskom analize, Radiohimičeskije metodi opredelenija mikroelementov, A. N. S. S. S. R., Moskva, 1965, str. 197-200.
42. *Glazov, U. M.*: Primjenjenije dvuh gama-radioaktivnih izotopov v radiohimičeskom analize, Radiohimičeskije metodi opredelenija mikroelementov. A. N. S. S. S. R., Moskva, 1965, str. 193-197.
43. *Glendenin, L. E., Nelson, C. M.*: Preparation of Carrier-Free Caesium Tracer by Use of Ammonium Carrier, Paper 286, *Natl. Energ. Ser. Div. IV. 9. Book 3*, 1951, 1649.
44. *Glendelin, L. E., Nelson, C. M.*: Perchlorate Method for the Determination of Cs Activity in Fission, (Coryell and Sugarman: Radiochemical studies), *The Fission Products*, **3** (1951) 1642.
45. *Gloss, G. H.*: Sodiumtetrphenylboron. A New Analytical Reagent for Potassium, Ammonia and Some Organic Nitrogen Compounds, *Chem. Anal.* **42** (1953) 50.
46. *Gmelin*: Ammonium, Rubidium, Caesium. System Nummer 23, 24, 25, Verlag Chemie, Berlin, 1936.
47. *Goeking, C. F., Ghann, C. L., Wyatt, F. I.*: Chlorostannate Method for Separation of Caesium., *Anal. Chem.*, **35** (1963) 1434.
48. *Goreng, B., Kosta, L.*: Photometrische Bestimmung von Caesium., *Z. analyt. Chem.*, **206** (1964) 321-323.

49. *Iagee, D. R., Korches, G. J., Goldin, A. S.*: Determination of Iodine-131, Cesium-137 and Ba-140 in Fluid Milk by Gamma-Spectrometry, *Talanta*, 5 (1960) 36.
50. *Handley, T. H., Burros, C. L.*: Paper on Determination of Radioactive Cesium, *Anal. Chem.*, 31 (1959) 331.
51. *Harujama, K., Asidzava, T.*: Ekstrakcija Cs i Fr pomoću NaTPbB. *Bunseki Kagaku, Jap. Anal.*, 14, (1965) 120.
52. *Havir, J.*: Natriumtriphenylcyanoborant als Reagens zum Nachweis u. Bestimmung des Caesiums, *Coll. Czech. Comm.*, 26 (1961) 1775.
53. *Healy, T. U., Davies, B. L.*: Separation of Fission Product Cesium by Zirconium Phosphate, *AEC Res. Est. No 541*, 1959, 9.
54. *Hillebrand, Lundell, et al.*: *Applied Inorganic Analysis*, J. Wiley, New York, 1953, 1033.
55. *Hunter, G. J.*: The Determination of Cs-137, *AERE-AM 2*, 1959.
56. *Hemon, G.*: Séparation chimiques des radioisotopes à longue période, présents dans l'atmosphère Ce-144, Cs-137, Zr-95, Sr-90, Ru-106., *Bull. inform. scient. et techn., Commissar. energie atom.*, No 64, 1962, 73-78 IV.
57. *Ivanova, I. M., Švedov, U. P.*: Odjeljivanje radioaktivnog cezija u morskoj vodi. II Odjeljivanje cezija kao spoja ferocijanida zemnih alkalija, *Radiohimijska, V. 2.*, 1963, 185.
58. *Ishibashi, M., Taitira, F. et al.* Chemical Studies with Radioactive Indicators XXIII. Ion Exchange Separation of Rb and Cs, *Jap. Anal.* 10 (1961) 116-119.
59. *Ishibashi Masayoshi et al.*: On a New Method for Separation of Rb and Cs from Potassium, *Bull. Inst. Chem. Res., Kyoto Univ.* 37 (1959) 159.
60. *Ishibashi Masayoshi, Hara Tadashi*: On Concentrating Rb and Cs from a Large Volume of Aqueous Solution, *Bull. Inst. Chem. Res.*, 37, (1959) 172.
61. *Ishibashi Masayoshi, Hara Tadashi*: A Systematic Analysis of K, Rb and Cs and its Application to Sea-Water, *Bull. Inst. Chem. Res.*, 37 (1959) 185.
62. *Ishibashi Masayoshi, Hara Tadashi*: On the Amount of Cesium Dissolved in Sea-Water., *Bull. Inst. Chem. Res. Kyoto Univ.*, 37, (1959) 279.
63. *Jenkins, W., Perkins, M.*: A Rapid Determination of Cs-137 (Tetraphenylborate Extraction), *AERE-AM 93*, 1963.
64. *Jones, N. E.*: Determination of Radioactive Cesium by Precipitation of Cs TPbB, *USAEC Rep. HALL-1378*, 1955, 63.
65. *Kasivagi Mariko, Ahaisi Džjun.*: Metod opredelenija Cs-137 v bolših količestvah piščii s ispolzovanijem fosfomolibdata amonija, *Radioisotopes*, 19 (1964) 382, re *R. Ž. Him.* 23 (1965) b 428.
66. *Knežević, Z., Pujić, Z., Marić, D.*: Određivanje Sr-85, Ru-106, Cs-137 i Ce-144 iz kompleksnog spektra i njihovih mješavina primjenom simultanih jednačina, *Glas. hem. i tehn. BiH.* 12 (1963) 81.
67. *Kolarik, Z., Krtíl, J.*: Sorption radioaktiver Isotopen an Niederschlägen. XIII. Sorptionseigenschaften des Eisen III Hydroxids in Gegenwart von Phosphaten, *Coll. Czech. Chem. Comm.*, 30 (1965) 724-735.
68. *Kokotov, A., Popova, R. F.*: Radiokromatografičeskoje isledovanije sorbciji mikrokoličestv Cs-137 počvami, glinami, sljudami. *Radiohimičeskie metodi opredelenija mikroelementov*, A. N. S. S. S. R. Izdat. Nauk, Moskva, 1965, str. 76-80.
69. *Kolthoff-Elving*: *Treatise on Analytical Chemistry: Part II. Vol. 1 (The Alkali Metals)*, Intersciences Publ., New York, 1961.
70. *Kosicín, A. U.*: Ferocijanidni metod opredelenija radiocezija, *Tr. po Radiac. gi-giene*, Leningrad, Vip. 2 (1964) 205-7.
71. *Kourim, Lavruhina, Rodin*: Precipitation of Fr and Cs with Heteropolyacids, *J. Inorg. and Nucl. Chem.*, 21 (1962) 375-379.

72. Kourim, U., Milliom, B.: Trennung des Cs¹³⁷ von Uranspaltprodukten mittels Zinkferrocyanids, Coll. Czech. Chem. Comm., 30 (1965) 2848-50.
73. Krtil, J., Fojtik, M., Kirš, M.: Extraktion des Caesium tetraphenylborats aus wässriger Lösung mit Nitrobenzol, Coll. Czech. Chem. Comm., 27 (1962) 2069.
74. Krtil, J.: Ion Exchange of Cs and Rb tungstiferrocyanide, J. Inorg. Nuclear Chem., 27 (1965) 233-6.
75. Kyrš, M., Podešva, S.: Mechanismus der Extraktion von Caesiumtetraphenylborats aus wässriger Lösung mit Nitrobenzol., Coll. Czech. Chem. Comm., 27 (1962) 2898.
76. Kyrš, M., Holečková, I., Neumann, L.: Koncentrovani a izolovani Cs-137 z vodovodni nebo rični vody ekstrakci polijodidu Cs nitrobenzenom, Jaderna energija, 8 (1962) 429-433.
77. Kyrš, M., Podešva, S.: Extraction du Cs sous forme de CsBiJ₄ par le nitrobenzène, Anal. Chim. Acta, 27 (1962) 183.
78. Kyrš, M.: Zum Mechanismus der Extraktion einiger Caesiumverbindungen aus wässriger Phase mit Nitrobenzol, Coll. Czech. Chem. Comm., 27 (1962) 2380.
79. Kyrš, M., Pelčík, J., Polansky, U.: Extraktion des Caesiums aus wässrigen Lösungen durch Nitrobenzol Lösung von Dipikrylamin, Coll. Czech. Chem. Comm., 25 (1960) 2642.
80. Langford, J. C.: Determination of Radiocesium by Complex Cobalticyanide Precipitation, HW-49668, Chem. General, TUD-4500, 13 Ed. USAEC.
81. Lavruhina, A. K., Mališeva, T. U., Pavlockaja, F. I.: Radiohimičeskij analiz, Izdat. Akad. Nauk, S. S. S. R., Moskva, 1963.
82. Lavruhina, A. K., Kourim, U., Rodin, S. S.: Novii metod hromatografičeskovo razdelenija radioaktivnih Rb i Cs, Acta Chim. Hung., 33, (1963) 309.
83. Lazzarini, C.: Separation of Cs-137 and Sr-90 from Old Fission Products by Electrophoresis II. Dependence of Migration Time, Energia nucl., 9 (1962) 40-42.
84. Lewi, A. W.: Chemische Verfahren der Abwässer Entaktievierung, Atomwirtschaft, 6 (1961) 265-9.
85. Lundell, G., Hoffman, J.: Outlines of Methods of Chemical Analysis, J. Wiley, New York, 1954.
86. Lyon, W. S.: Chlorostannate Method (for the Determination of Cesium-137), "Cesium NAS-NS-3035, 1960.
87. Maksimovičeva, Z. T., Maslencova, F. N., Sulejmanova, T. A.: Opređenije Rb i Cs v vide-ih ftoroboratorov, Zav. Lab., 27 (1961) 678.
88. Malvicini, A., Uido, L.: Determinazione dello Sr-90 e del Cs-137 nell'acqua di mare, CNI 93, Ispra, 1961.
89. Marujana Josiaki: Ionoizmjenjivačka separacija Rb i Cs. Bunseki Kagaku, Japan Analyst., 13 (1964) 956-960.
90. Mazzi, I., Gualandi, C., Burana, G.: Separazione dei metalli alcalini con resine a scambio ionico, Nota III, Ann. Chimica, 53, (1964) 368-394.
91. Miheejev, N. B., Petzold, I.: Raspredelenije radioaktivnogo cezija među kristaliničnoj fazoj alumokalijevih kvascov i rastvorom, Radiohimija, 6 (1963) 22.
92. Mizzan, E.: Phospho-wolframic Method for the Determination of Radioactive Cesium in Solution of Long Lived Fission Product Activities, (PDB-128), Chalk River of Can. A. E. Ltd, 1953 CAEL.
93. Mohanrao, G. J., Folsom, T. R.: Gamma-Ray Spectrometric Determination of Low-Concentrations of Radioactive Cs in Sea Water by Nickel-Ferrocyanide Method. Analyst., 88 (1963) 105-108.
94. Moses, A. J., Cork, H. D.: Radiochemical and Mass-Spectrometrical Studies of Fission Products, Rep. Anal. Chem. in Nuclear Reactor Techn., Second Conf. Gatlinburg, Tenn. TID-7568 (Pt 2), April 1959, str. 192.

95. *Murina, A. N., Nefelova, U. D., Švedova, C. P.*: Radiohimijska i himijska jadrnih procesov. Goshimizdat, Moskva, 1960.
96. *Newton, H. S.*, Chemical Separation of Radiocesium, *Meinke, W. W.*: Chemical Proceedings used in Bombardment Work at Berkeley, U. S. AEC Rept., AEC D-2738, 1949, str. 55.
97. *Nikolajev, A. U., Grogorjev, U. A., Kuznecova, A. K.*: Metodi opredelenija veličini zahvata mikrokomponentov osadkov makrokomponenta, Radiohim. metodi opredelenij mikroelementov, A. N. S. S. S. R. izdat. Nauk, Moskva, 1965, str. 71-73.
98. *Nunes Uiana, C. A.*: Determination of Low Concentrations of Cs-137 by Coprecipitation with NH_4 -Tungstophosphate, Rev. Port. Quim., 5 (1963) 153-154.
99. *Osterried, O.*: Flame Photometric Determination of Small Amounts of Cs in Silicates after Concentration on Zr-Phosphate Ion-Exchange Material, Z. Anal. Chem., 199 (1963) 260-270.
100. *Osmond, R., Pratchett, A., Warricher, G.*: The Determination of Long-Lived Fall-Out in Rain-Water, AERE C/R, 2165, Aug. 1957.
101. *Montag, A.*: Determination of Cesium-137 in Foods. Chemisches Landes-Untersuchungsamt, Münster. Lično saopćenje (1966).
102. *Papish, J., O'Leary, S. J.*: Analytical Reactions of Rubidium and Cesium, Ind. Eng. Chem. Anal. Ed., Vol. 6, br. 2 (1934), 107-111.
103. *Plaksin, I. N., Beljakov, M. A., Starčik, L. P.*: Gama-spektroskopijskoje opredelenije Cs s pomošću neutronske aktivacione analize, Tr. Vses. koordinac. sovešćenija po aktivac. analizu, 1962, Taškent »Nauka«, 1964, 133-140.
104. *Pepper, D.*: Ion Removal and its Application to Radioactive Effluent Treatment, Brit. Chem. Eng., 9 (1964) 510-516.
105. *Perelman, F. M.*: Rubidij i cezij, Izdat. Akad. nauk, S. S. S. R., Moskva, 1960 str. 137.
106. *Perkin, R. W.*: A Tentative Anion-Exchange Precipitation, Procedure for the Determination of Cs-137, USAEC. HW-40544, 1955.
107. *Ponomareva, L. K., Zolotavin, U. L., Meškalkova, A. N.*: Određivanje Cs-137 u vodama otvorenih tokova, Tr. Ural. Otd. Mosk. Ispit. Prir., Vip. 2 (1959) 201.
108. *Prudnikov, E. D.*: Sravnenije nekatorih uslovij opredelenija ščeločnih metalov (Na, K, Rb, Cs) metodami atomno absorpcionoj i emisijonij plamcnoj spektrofotometriji, Žurnl. anal. him., 20 (1965) 40-43.
109. *Puškarov, U. U., Skrivlev, L. D., Kirova, S. M.*: Izvlečenje radioaktivnog Cs smešanim ferocijanidima tjažolih metala, Žurn. prikl. him., No 1 (1960) 81-85.
110. *Reilly, N.*: Advances in Analytical Chemistry and Instrumentation, Vol. 1, Interscience Publ., New York, 1960.
111. *Rider, B. F.*: Determination of Cs-137 as Cs_2PtCl_6 , »Cesium«, NAS-NS, 3035, 1960.
112. *Ritter, R.*: Über die Flüchtigkeit von Caesium-Salzen bei Veraschung von Lebensmitteln, Naturwissenschaften, 51 (1964) 104-5.
113. *Ritter, R.*: Veraschung von Lebensmitteln im Hinblick auf die Flüchtigkeit von Radiocaesium: Der Temperaturverlauf in der Substanz während der Veraschung, Dtsch. Lebensmittelrundscha, 51 (1964) 210.
114. *Ross, W. J., White, J. C.*: Determination of Cs and Rb after Extraction with 4-Sec-Butyl-2 (alpha Methyl-Benzylphenol), Anal. Chem., 36 (1964) 1998-2000.
115. *Rubeška, I., Moldau, B.*: Rb and Cs-Bestimmung in Silikaten mittels Flammenphotometrie, Coll. Czech. Chem. Comm., 30 (1965) 1731.
116. *Sachse, G.*: Über die Untersuchung der Verwendung eines albanischen Tones zur Reinigung radioaktiver Abfalllösungen, Kernenergie, 5 (1962) 544.
117. *Schwabe, J., Fiehn, H., Riedel, A.*: Die Reinigung radioaktiver kontaminierter Abwässer durch Ligninsulfonsäurekondensationsprodukte, Z. Chem., 3 (1963) 357.

118. *Scheidhauer, J., Chalidan, M. et al.*: Contribution à l'utilisation analytique du phosphomolibdate d'ammonium: Separation du radiocésium en solution, (Rapp.-Cea), 1964, No 2430, str. 8.
119. *Scheidhauer, J., Messainguiral, L.*: Separation et détermination du Cs-137 - Ba-137 dans les effluents radioactifs, *Chim. Anal.*, 46 (1964) 192-5.
120. *Schönfeld, A., Libbey, H., Davies, W.*: Determination of Nuclide Concentrations in Solutions Containing Low Levels of Radioactivity by Least-Squares Resolution of the Gamma-Ray Spectre, Rep. Atom. Energ. Comm., U S ORNL - P 447, 1964.
121. *Senjavin, M. M., Nikitina, N. G.*: Ionoobmenoje koncentrirovanije: Videlenije cezija, stroncija i cerija iz presnih vod, Radiohimičeskije metodi opredelenija mikroelementov, A. N. S. S. S. R., Izdat. Nauk., Moskva, 1965, str. 118.
122. *Shen Shih-nien, Zhang Zhu-jun*: Ion Exchange Properties of NH_4 -Salts of 12-Heteropolyacids I. Chromatographic Separation of Alkali Metals. *Scientia Sinica*. 13 (1964) 1793; *R. Z. Him.* 13 G 47 (1965).
123. *Shukla, S. K., Lederer, M.*: Paper Electrophoretic Separation of Some Fission Products, *J. Chrom.*, 9 (1962) 255.
124. *Smales, A. A., Hughes, T. C. et al.*: Determination of Rb and Cs in Stony Meteorites by Neutron-Activation Analysis and by Mass Spectrometry, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 28 (1964) 209-233.
125. *Smit, R. J., Jacob J. J., Punney, F. G., W.*: The AMP (NH_4 -12-Molybdophosphate) Process for Cesium Separation J. V. Towards a Flow-Sheet, AERE Rep. 245, 1963, str. 38.
126. *Sodd, U. J., Goldin, A. S., Velten, R. J.*: Determination of Radioactivity in Saline Waters, *Anal. Chem.*, 32 (1960) 32.
127. *Sousa, de U.*: Chelatometric Determination of Cs, *Talanta*, 8 (1961) 686.
128. *Spicin, U. I., Torčenkova, E. A. et al.*: Determination of Radio-Cesium by the Ceri-Molybdate Method, *Atomn. Ener.*, 15 (1963) 519-520.
129. *Sun Ji-liang, Lue Lan-chiang*: Anion Exchange Separation of Rb and Cs with Methyl Alcohol- HNO_3 as Eluent, *Scientia Sinica*, 13 (1964) 1635.
130. *Švedov, U. P., Žilkina, M. I., Zinovjeva, U. K.*: O radiohimičeskom opredeleniju cezija-137 u maloaktivnih probah, *Radiohimija*, 6 (1961) 732.
131. *Švedov, U. P., Ivanov, I. M., Žarikova, U. I.*: Videlenije radioaktivnog cezija iz morskoj vodi, *Radiohimija*, 2 (1963) 182.
132. *Švedov, U. P., Žilkina, M. I., Gritčenko, Z. G. et al.*: Povedenije Cs-137 v hode analiza prob atmosfernih osadkov. Radiohimičeskije metodi opredelenija mikroelementov, Izdatelstvo A. N. S. S. S. R., Moskva, 1965.
133. *Tahidzava Macao, Koda Kugao et al.*: Uklanjanje Cs-137 na montmorillonitnim glinama iz Niigate kolonskim metodama, *Radioisotopes*, 6 (1964) 455.
134. *Tamahicki Tsugo, Yichiro Omamo*: Further Report on Radioactive Contamination of Milk and Milk Products in Japan. Determination of Sr-90 and Cs-137 Concentrations in Milk Products in Japan, *Agric. Bull. Chem. Japan*, 27 (1963) 188-192.
135. *Tiljanova, A. A.*: Sorpcija Cs-137 sloistim počvenim mineralima, *Počvovedenije*, 12 (1964) 88.
136. *Tsubota, H., Kitano, Y.*: Water, *Bull. Chem. Soc., Japan*, 33 (1960) 765.
137. *Uido, L.*: Metodi di separazione chimica dei principali radionuclidi del fall-out e naturali in materiali vari, *Manuskript*, Ispra, 1960.
138. *Wallace, C. G.*: Determination of Certain Artificial and Natural Radioactivities in Rain-Water, UKAEA Rep., AERE-AM 100, 1965, str. 42.
139. *Welford, G. A., Harley, A.*: A New Method for the Collection of Fall-Out Material from Nuclear Detonations, UASEC Rep. No HASL-42 Part IV. Oct. 1958.
140. *Welford, G. A., Collins, W. R., Morse, D. C.*: The Sequential Analysis of Long Range Fall-Out Debris, *Talanta*, 5 (1960) 168.

141. *Whitney, J. B.*: Ed.: Determination of Cs-137, USAEC, N. Y. Oper. Off. NYO-4700, 1957.
142. *Wilkinson, G., Grummitt, K. E.*: Chemical Separation of Fission Products, *Nucleonics*, **9**, (1965) 55.
143. *Woodhead, J. L., Fudge, A. J., Jenkins, E. N.*: Modification of the Rapid Determination of Radioactivity Due to Cs-137 in Mixed Fission Products by Anion-Exchange and Gamma-Ray Spectrometry, USAEC C/R 1877, Feb. 23 1956.
144. *Yamagata, N., Watanabe, S.*: Tl (I) Dipikrilamine Precipitation Method, Paper on Carrier-free Separation of Cesium from Fission Products, Method, Bull. of the Chem. Soc. Japan, **30** (1957) 580.
145. *Yamagata, N., Iwashima, K., Tajima, E.*: Determination of Rb and Cs by Neutron Activation Followed by Gamma-Spectrometry, *J. Atom. Energy Soc. Japan*, **4** (1962) 534.
146. *Yamagata, N.*: Gamma-Ray Spectrometric Determination of Cs-137 in Sea-Water by Using Ammonium-Molybdatephosphate as Scavenger, *Nature*, **2** (1963) 157.
147. *Yamagata, N.*: The Currently Used Methods of Radiochemical Separation of Cs-137 in Blood and Low-Background Counting with 4 II Counter, Bull. Inst. Public Health, 1964, Preprint.
148. *Yamagata, N.*: Review on the Analytical Methods for the Stable and Radioactive Cesium, Bull. Inst. Publ. Health, **14** (1965) 59-86.
149. *Yi Liang-sun, Lan Chiang-lue*: Ion Exchange Separation of Rb and Cs: I. Anion Exchange Separation with Methanol-Nitric Acid as Eluent, *Acta Chim. Sinica*, **30** (1964) 117-120.
150. *Zefirov, A. P., Senjavin, M. M.*: Ekstrakcija, Vip. 2, Gosatomizdat, Moskva, 1962, str. 257.

Summary

REVIEW OF ANALYTICAL METHODS FOR DETERMINATION OF STABLE AND RADIOACTIVE CESIUM

A number of radiochemical methods for determination of active cesium and some analytical methods for determination of stable cesium are described. Particular attention is paid to the methods for determination of Cs-137 in samples of biosphere. The literature listed relates to papers published in this field in the past 5 years and to the review articles and original scientific papers published earlier but considered basic for most of the methods currently used.

*Institute for Medical Research
incorporating the Institute of Industrial
Hygiene, Zagreb*

*Received for publication
May 5, 1966*