



УДК 546.659:546.65:504.064:539.16

Использование гидроксидов и фторидов металлов для концентрирования и выделения изотопов самария из кислотных выщелатов почвы



С. Е. Сальменбаев, Н. К. Нургайсинова, М. А. Умаров

Сальменбаев Саян Елеусизович, начальник группы исследований высокоактивных образцов лаборатории радиохимических исследований, Институт радиационной безопасности и экологии Национального ядерного центра, г. Курчатов, Казахстан, salmenbayev@nnc.kz

Нургайсинова Назгуль Кадирбековна, техник группы исследований высокоактивных образцов лаборатории радиохимических исследований, Институт радиационной безопасности и экологии Национального ядерного центра, г. Курчатов, Казахстан, nazgul.nurgaysinova14@mail.ru

Умаров Мурат Алпыспаевич, кандидат химических наук, заместитель директора, Институт радиационной безопасности и экологии Национального ядерного центра, г. Курчатов, Казахстан, umarov@nnc.kz

Проведены сравнение и оценка эффективности использования осаждения малорастворимых гидроксидов и фторидов металлов для предварительного концентрирования и выделения изотопов самария из раствора, имитирующего кислотный выщелат почвы. Показано, что при осаждении гидроксидов количественное выделение самария достигается в области pH, равного -7, а количество соосажденных щелочных и щелочноземельных элементов при этом не превышает 20%. При использовании фторидного осаждения наблюдается практически количественное выделение щелочных, щелочноземельных элементов и алюминия, в то же время максимальное выделение самария не превысило 90%. Высказано предположение о целесообразности применения последовательного осаждения гидроксидов и фторидов для удаления большей части матричных элементов без существенных потерь интересующего элемента.

Ключевые слова: концентрирование, выделение, осаждение, соосаждение, гидроксиды и фториды металлов, СИП.

Поступила в редакцию: 26.11.2019 / Принята: 28.02.2020 / Опубликовано: 31.08.2020

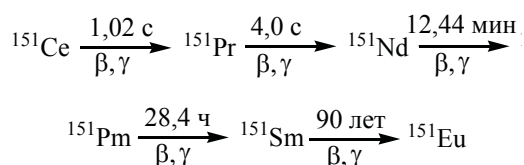
Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution License (CC-BY 4.0)

DOI: <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2020-20-3-284-289>

Введение

Испытания ядерного оружия, различные радиационные аварии повлекли за собой обширное загрязнение окружающей среды различными техногенными радионуклидами [1–5]. Важнейшие с точки зрения радиоактивного загрязнения радионуклиды принадлежат к радиоактивным цепочкам под номерами 89–93, 95, 97, 99, 103, 106, 131–133, 135, 137, 140, 141, 143, 144, 147, 149 и 151. Эти

радионуклиды вносят наиболее существенный вклад в активность смеси осколков деления [6]. Одним из таких радионуклидов с периодом полураспада ~90 лет [7–10] является ^{151}Sm :



В настоящее время информация об уровнях содержания ^{151}Sm в объектах окружающей среды на территории Семипалатинского испытательного полигона (СИП) отсутствует. Оценочно только за счет атмосферных взрывов, проведенных на СИП, было наработано порядка $6,1 \cdot 10^5$ Ки ^{151}Sm [11].

Ввиду того что ^{151}Sm является слабым β -излучателем с максимальной энергией равной 76,7 кэВ, измерение его активности планируется проводить методом жидкостной сцинтилляционной спектроскопии (ЖСС) [12–15].

Основными требованиями к подготавливаемому β -спектрометрическому источнику при этом являются радиохимическая очистка от всех возможных β -излучателей и отделение солевого балласта макрокомпонентов, составляющих почвенную матрицу.

Цель данной работы – выбор оптимального метода предварительного концентрирования и выделения изотопов самария из кислотных выщелатов почвы при проведении радиохимического анализа.

Материалы и методы

В качестве объекта исследования использовали раствор, имитирующий кислотный выщелат почвы по содержанию основных макро- и микрокомпонентов: Li, Be, Na, Mg, K, Ca, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Sr, Mo, Cd, Sn, Sb, Te, Cs, Ba, Tl, Pb, Bi, Sm, La, Y [16]. 50 мл азотнокислого раствора (3 М HNO_3) соответствовали навеске почвы массой 5 г, квалификация использованных реактивов была не ниже «хч».

Для определения содержания элементов использовали квадрупольный масс-спектрометр



с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС) Agilent 7700x фирмы «Agilent Technologies» и атомно-эмиссионный спектрометр с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-АЭС) iCAP 6300 Duo фирмы «Thermo Scientific». Для построения калибровочных графиков использовали мультиэлементные стандартные растворы. Контроль качества измерений осуществляли путем измерения контрольного раствора через каждые 10 проб. При отклонении калибровочного графика на 10% производили перекалибровку прибора.

Осаждение гидроксидов

Для осаждения гидроксидов в стеклянные химические стаканы пипеткой Мора отбирали по 50 мл модельного раствора и помещали на магнитную мешалку для постоянного перемешивания. В каждый образец добавляли из бюретки 25% раствор аммиака до необходимого значения pH в диапазоне от 4,0 до 9,0 единиц с измерением значений водородного показателя на приборе «SevenCompact S220» с погрешностью измерения 0,002 ед. pH. Выпавший осадок отделяли от раствора центрифугированием, дважды промывали порциями по 15 мл горячей дистиллированной воды и растворяли в минимальном количестве 3 М HNO₃. Полученный азотнокислый раствор переносили в мерные колбы емкостью 200 мл и разбавляли до метки дистиллированной водой, подкисленной несколькими каплями концентрированной HNO₃.

Осаждение фторидов

Для осаждения фторидов в аликвотные части модельного раствора (по 50 мл каждая) приливали 45% раствор фтористоводородной кислоты (HF) в количестве 2–5–10–15 мл. Выпавший осадок отделяли от раствора центрифугированием, промывали порциями по 15 мл дистиллированной воды и переносили количественно в химические стаканы для последующего растворения при кипячении в растворе хлороводородной кислоты (0,5 М HCl) с добавлением небольшого количества борной кислоты (H₃BO₃). Растворы, полученные после растворения фторидов, переносили в мерные колбы емкостью 200 мл и разбавляли до метки дистиллированной водой, подкисленной несколькими каплями концентрированной HCl.

док отделяли от раствора центрифугированием, промывали порциями по 15 мл дистиллированной воды и переносили количественно в химические стаканы для последующего растворения при кипячении в растворе хлороводородной кислоты (0,5 М HCl) с добавлением небольшого количества борной кислоты (H₃BO₃). Растворы, полученные после растворения фторидов, переносили в мерные колбы емкостью 200 мл и разбавляли до метки дистиллированной водой, подкисленной несколькими каплями концентрированной HCl.

Результаты и их обсуждение

На рис. 1–3 представлены графики распределения самария и некоторых матричных элементов в осадке гидроксидов и фторидов в зависимости от величины pH и концентрации HF.

Несмотря на то что и гидроксиды, и фториды щелочных металлов хорошо растворимы, они, как это видно из рис. 1, значительно соосаждаются и с гидроксидами и фторидами. Однако если в случае осаждения гидроксидов их максимальное содержание в осадке не превысило 30% (см. рис. 1, а), то при фторидном осаждении они практически полностью выделяются с образующимся осадком уже при концентрациях HF более 2,5 моль/л (см. рис. 1, б).

Использование гидроксидов для выделения самария оказалось более эффективным в сравнении с применением для этих целей фторидов. Так, количественное выделение самария происходит уже при pH ≥ 7 (см. рис. 1, а). При использовании для этих целей фторидного осаждения максимальная степень выделения изотопов самария не превысила 90% (см. рис. 1, б).

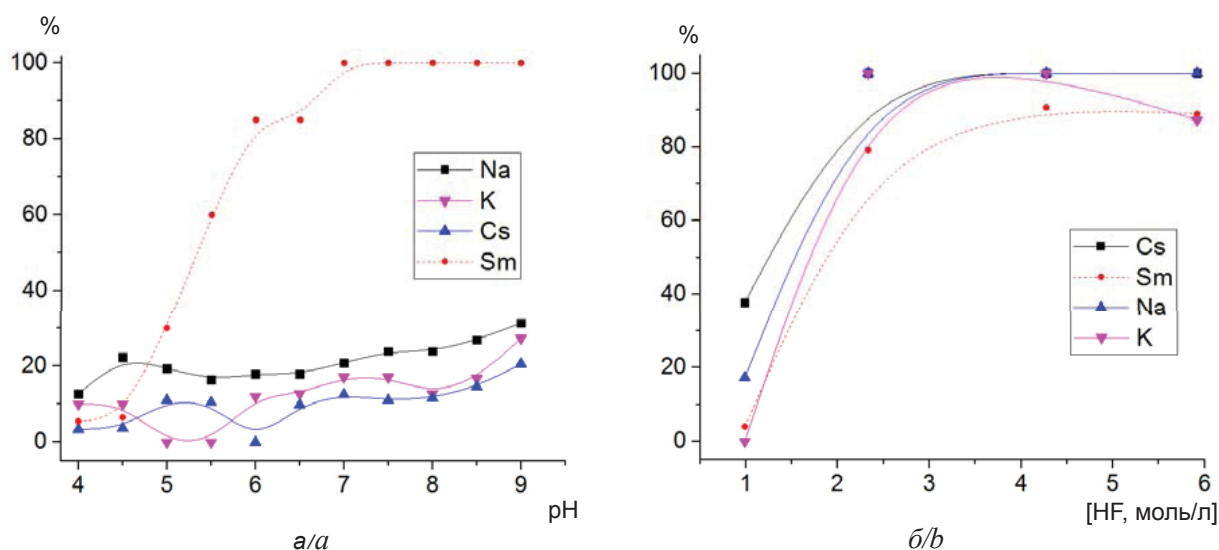


Рис. 1. Распределение самария и щелочных элементов в осадках гидроксидов (а) и фторидов (б)
Fig. 1. The distribution of samarium and alkaline elements in the precipitates of hydroxides (a) and fluorides (b)



Из рассматриваемых щелочноземельных элементов (см. рис. 2) малорастворимые гидроксиды характерны для Ca и Sr. Однако образование собственной твердой фазы данными элементами происходит лишь при высоких значениях pH (>12). Хотя и имеются сведения о том, что соосаждение данных элементов с гидроксидом железа начинается при pH ≥ 7 [17, 18], в данной работе выделение щелочноземельных элементов с осад-

ком гидроксидов наблюдалось во всем исследуемом диапазоне pH (см. рис. 2, а), что может быть обусловлено различием в характеристиках опытных образцов и условий экспериментов. Как известно, на процесс соосаждения могут влиять различные факторы, например концентрация элементов, pH раствора, температура, продолжительность контакта осадка с раствором, присутствие в растворе аммиака двуокиси углерода (CO₂) и т. д. [18].

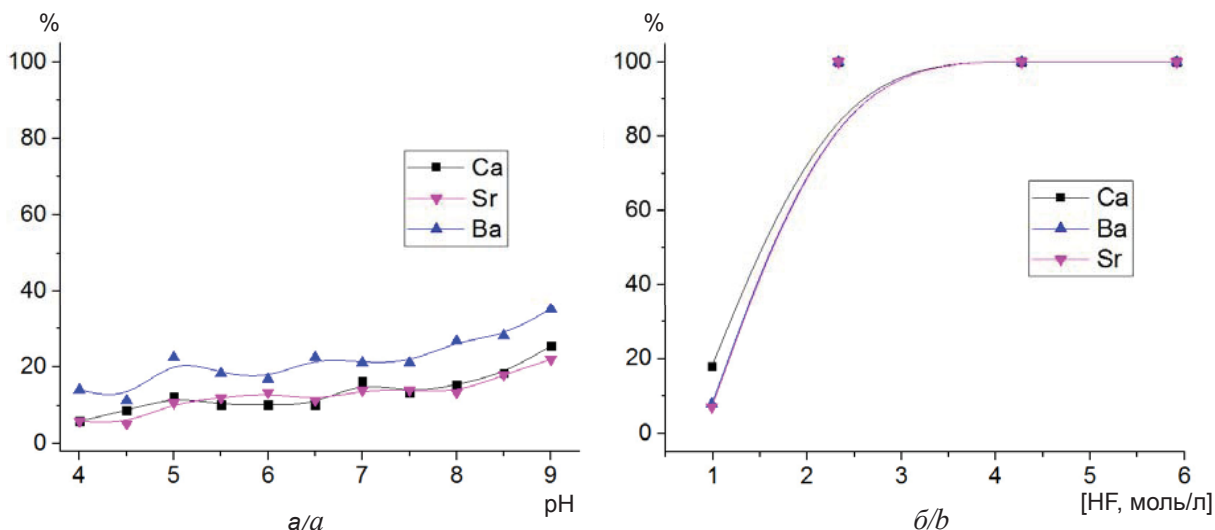


Рис. 2. Распределение щелочноземельных элементов в осадках гидроксидов (а) и фторидов (б)
Fig. 2. The distribution of alkaline-earth elements in the precipitates of hydroxides (a) and fluorides (b)

В отличие от гидроксидов фториды Ca, Sr, Ba относятся к трудно-растворимым соединениям [17, 18]. Наименее растворимым из них является фторид кальция. Вполне очевидно, что именно фторид кальция как макрокомпонент модельного раствора и составил основу для всего осадка фторидов. Как можно видеть из рис. 2,

выделение кальция происходит количественно уже при концентрациях HF от 2,5 моль/л (см. рис. 2, б).

Железо и алюминий составили основу для образования осадка гидроксидов (рис. 3, а), выступив в роли коллекторов для элементов, находящихся в растворе в микроконцентрациях. Со-

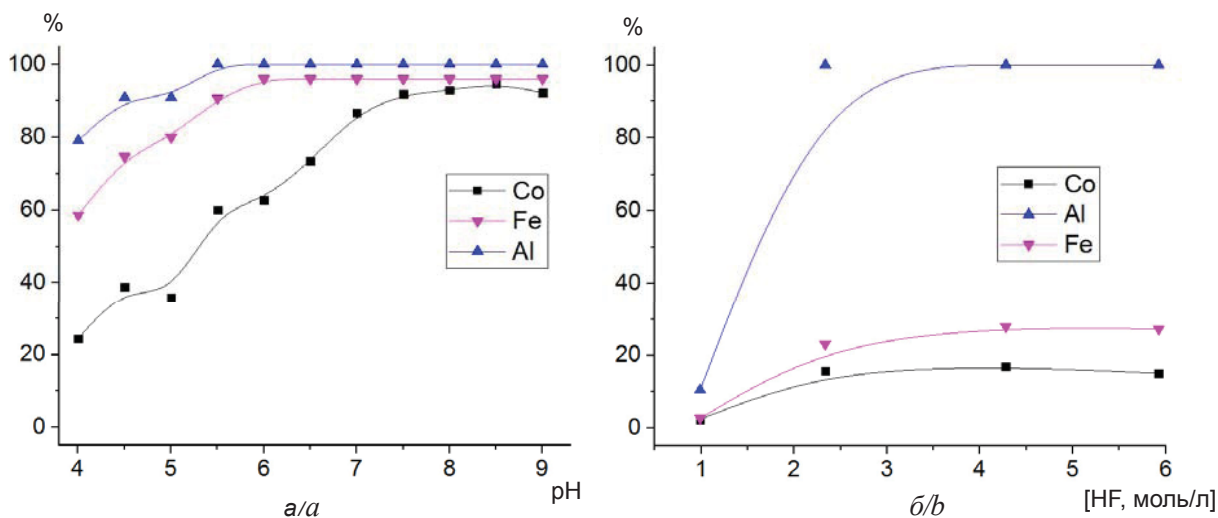


Рис. 3. Распределение Fe, Al, Co в осадках гидроксидов (а) и фторидов (б)
Fig. 3. The distribution of Fe, Al, Co in the precipitates of hydroxides (a) and fluorides (b)



гласно литературным данным, началу выделения осадка $\text{Fe}(\text{OH})_3$ соответствует рН, равный ~ 2 , а $\text{Al}(\text{OH})_3$ начинает выпадать при рН 3,5–4 [19, 20]. В проведенных экспериментах формирование более или менее объемного осадка гидроксидов начинало происходить при рН $\geq 3,5$.

Гидроксид кобальта относится к нерастворимым в воде основаниям, однако его образование происходит лишь в щелочной среде (рН ≥ 7) [21]. Исходя из литературных данных [19, 21], концентрации Co^{2+} и произведения растворимости $\text{Co}(\text{OH})_2$ [21, 22] можно утверждать, что основную роль в выделении кобальта в области рН от 4,0 до 9,0 сыграло его соосаждение на гидроксидах железа и алюминия.

При использовании фторидного осаждения предполагалось отделение ионов самария от основной части железа, кобальта и алюминия, однако алюминий оказался целиком в осадке (см. рис. 3, б). Вероятно, причиной этого явилось образование криолита – малорастворимого фторидного комплекса состава Na_3AlF_6 , которое может происходить в избытке NaF [20]. Максимальное содержание железа в осадке фторидов при этом не превысило 30%, кобальта – 20%.

Заключение

Анализ кривых распределения элементов показывает, что использование гидроксидного осаждения для концентрирования и выделения самария из кислотных выщелатов почвы более приемлемо по сравнению с осаждением фторидов, так как характеризуется более низким содержанием в осадках щелочных и щелочноземельных элементов при достаточно высоком выходе целевого элемента. Так, например, количественному выделению изотопов самария соответствует область рН, равная ~ 7 , а количество соосажденных щелочных и щелочноземельных элементов, не превышает 20%.

В случае с фторидным осаждением максимальная степень извлечения изотопов самария не превышает 90%, при этом наблюдается количественное выделение щелочных, щелочноземельных элементов и алюминия. Положительным моментом использования фторидов является снижение остаточной концентрации кобальта и железа до 20 и 30% соответственно. Полагаем, что осаждение фторидов следует проводить после выделения гидроксидов, так как в этом случае концентрация натрия будет значительно ниже, что уменьшит количество образующихся малорастворимых фторидных комплексов алюминия. Таким образом, применение чередующегося выделения гидроксидов и фторидов

металлов позволит сбросить основной солевой балласт перед проведением дальнейшей радиохимической очистки без существенных потерь интересующего элемента.

Список литературы

1. *Wendel C. C., Fifield L. K., Oughton D. H., Lind O. C., Skipperud L., Bartnicki J., Tims S. G., Høibråten S., Salbu B.* Long-range tropospheric transport of uranium and plutonium weapons fallout from Semipalatinsk nuclear test site to Norway // *Journal of Environment International*. 2013. Vol. 59. P. 90–102. DOI: 10.1016/j.envint.2013.05.017
2. *Aidarkhanov A. O., Lukashenko S. N., Lyakhova O. N., Subbotin S. B., Yakovenko Yu. Yu., Genova S. V., Aidarkhanova A. K.* Mechanisms for surface contamination of soils and bottom sediments in the Shagan River zone within former Semipalatinsk Nuclear Test Site // *Journal of Environmental Radioactivity*. 2013. Vol. 124. P. 163–170. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2013.05.006
3. *Ляхова О. Н., Ларионова Н. В., Лукашенко С. Н., Айдарханов А. О., Спирин Е. В.* К вопросу о путях миграции трития за пределы бывшей испытательной площадки «Дегелен» // *Радиация и риск*. 2014. Т. 23, № 1. С. 97–103.
4. *Паницкий А. В., Лукашенко С. Н., Кадырова Н. Ж.* Радионуклиды в организме диких животных Семипалатинского испытательного полигона // *Ядерная и радиационная физика : материалы 10-й междунар. конф. Курчатов : НЯЦ РК*, 2015. С. 137–138.
5. *Савицкий И. М.* Воздействие ядерных испытаний на Семипалатинском полигоне на природную среду и население Западной Сибири в годы «холодной войны» // *Гуманитарные науки в Сибири*. 2013. № 4. С. 87–91.
6. *Израэль Ю. А.* Изотопный состав радиоактивных выпадений. Л. : Гидрометеиздат, 1973. 108 с.
7. *Логачев В. А.* Мирные ядерные взрывы : обеспечение общей и радиационной безопасности при их проведении. М. : ИздАТ, 2001. 519 с.
8. *Elfving M., Evins L., Gontier M., Grahm P., Mårtensson P., Tunbrant S.* Long-lived intermediate level waste from Swedish nuclear power plants. Stockholm : Technical Report, 2014. 140 p.
9. *Shen H., Jiang S., He M., Dong K., Ouyang Y., Li Zh., Guan Y., Yin X., Peng B., Zhou D., Yuan J., Wu S.* AMS measurements of fission products at CIAE // *Journal of Nucl. Instr. Meth. Phys. B*. 2013. Vol. 294. P. 136–142. DOI: 10.1016/j.nimb.2012.06.019
10. *Altizoglou T., Rožkov A.* Standardisation of the ^{129}I , ^{151}Sm and $^{166\text{m}}\text{Ho}$ activity concentration using the CIEMAT/NIST efficiency tracing method // *Journal of Applied Radiation and Isotopes*. 2016. Vol. 109. P. 281–285. DOI: 10.1016/j.apradiso.2015.12.048
11. *Ядерные испытания СССР : в 4 т. / под ред. В. Н. Михайлова.* М. : ИздАТ, 1997. Т. 2. 303 с.



12. Shuichi Sumiya, Naomi Hayashi, Hiromi Katagiri, Osamu Narita. A radioanalytical method for samarium-151 and promethium-147 in environmental samples // *The Science of the Total Environment*. 1993. Vol. 130/131. P. 305–315. DOI: 10.1016/0048-9697(93)90085-K
13. Dewberry R. A., Boyce W. T., Bibler N. E., Ekechukwu A. E., Ferrara D. M. Separation and purification and beta liquid scintillation analysis of ¹⁵¹Sm in Savannah River Site and Hanford Site DOE high level waste // *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 2002. Vol. 252, № 3. P. 503–513. DOI: 10.1023/A:1015898619515
14. Dry E. D., Oldham J. W., Bowen M. S. Determination of ¹⁵¹Sm and ¹⁴⁷Pm using liquid scintillation tracer methods // *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 2009. Vol. 282. P. 635–640. DOI: 10.1007/s10967-009-0330-1
15. Vajda N., Molnar Z., Bokori E., Osváth S., Párkányi D., Braun M. Validation of radiochemical methods for the determination of difficult-to-measure nuclides using LSC // *Abstract from International Conference on Advances in Liquid Scintillation Spectrometry*. 2017. Copenhagen, Denmark. P. 50–51.
16. Войткевич Г. В., Кокин А. В., Мирошников А. Е., Прохоров В. Г. Справочник по геохимии. М. : Недра, 1990. 480 с.
17. Фрумина Н. С., Кручкова Е. С., Муштакова С. П. Аналитическая химия кальция. М. : Наука, 1974. 252 с.
18. Полуэктов Н. С., Мищенко В. Т., Кононенко Л. И., Бельтюкова С. В. Аналитическая химия стронция. М. : Наука, 1978. 223 с.
19. Никольский Б. П., Григоров О. Н., Позин М. Е. Справочник химика : в 7 т. Л. : Химия, 1967. Т. 4. 920 с.
20. Тихонов В. Н. Аналитическая химия алюминия. М. : Наука, 1971. 266 с.
21. Пятницкий И. В. Аналитическая химия кобальта. М. : Наука, 1965. 261 с.
22. Лурье Ю. Ю. Справочник по аналитической химии. М. : Химия, 1989. 448 с.

Образец для цитирования:

Сальменбаев С. Е., Нургайсинова Н. К., Умаров М. А. Использование гидроксидов и фторидов металлов для концентрирования и выделения изотопов самария из кислотных выщелатов почвы // *Изв. Сарат. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология*. 2020. Т. 20, вып. 3. С. 284–289. DOI: <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2020-20-3-284-289>

Pre-Concentration and Extraction of Samarium Isotopes by Precipitation of Slightly Soluble Hydroxides and Fluorides of Metals

S. E. Salmenbayev, N. K. Nurgaysinova, M. A. Umarov

Sayan E. Salmenbayev, <https://orcid.org/0000-0001-7338-682X>, Institute of Radiation Safety and Ecology of National Nuclear Center of Kazakhstan, 2 Beibit Atom St., Kurchatov 071100, Kazakhstan, salmenbayev@nnc.kz

Nazgul K. Nurgaysinova, <https://orcid.org/0000-0002-1280-4079>, Institute of Radiation Safety and Ecology of National Nuclear Center of Kazakhstan, 2 Beibit Atom St., Kurchatov 071100, Kazakhstan, nazgul.nurgaysinova14@mail.ru

Murat A. Umarov, <https://orcid.org/0000-0002-4817-1242>, Institute of Radiation Safety and Ecology of National Nuclear Center of Kazakhstan, 2 Beibit Atom St., Kurchatov 071100, Kazakhstan, umarov@nnc.kz

The comparison and assessment of the efficiency of using the precipitation of sparingly soluble metal hydroxides and fluorides for the extraction and pre-concentration of samarium isotopes from the solution simulating acidic leachate of the soil were made. It was shown that the precipitation of samarium isotopes was achieved quantitatively at the pH of about 7 and the co-precipitation of alkaline and alkaline earth elements did not exceed 20%. In contrast to that the fluoride precipitation was characterized by practically quantitative precipitation of alkaline, alkaline earth elements and Al, while the maximum extraction of samarium isotopes did not exceed 90%. The authors assumed that sequential precipitation procedures would be more effective for removing the bulk of the matrix without significant losses of samarium.

Keywords: pre-concentration, extraction, precipitation, coprecipitation, hydroxides and fluorides of metals, STS.

Received: 26.11.2019 / Accepted: 28.02.2020 / Published: 31.08.2020

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution License (CC-BY 4.0)

References

1. Wendel C. C., Fifield L. K., Oughton D. H., Lind O. C., Skipperud L., Bartnicki J., Tims S. G., Høibråten S., Salbu B. Long-range tropospheric transport of uranium and plutonium weapons fallout from Semipalatinsk nuclear test site to Norway. *Journal of Environment International*, 2013, vol. 59, pp. 90–102. DOI: 10.1016/j.envint.2013.05.017
2. Aidarkhanov A. O., Lukashenko S. N., Lyakhova O. N., Subbotin S. B., Yakovenko Yu. Yu., Genova S. V., Aidarkhanova A. K. Mechanisms for surface contamination of soils and bottom sediments in the Shagan River zone within former Semipalatinsk Nuclear Test Site. *Journal of Environmental Radioactivity*, 2013, vol. 124, pp. 163–170. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2013.05.006
3. Lyakhova O. N., Larionova N. V., Lukashenko S. N., Aidarkhanov A. O., Spirin E. V. On the tritium migration pathways outside the former «Degelen» site. *Radiation and Risk*, 2014, vol. 23, no. 1, pp. 97–103 (in Russian).
4. Panitskiy A. V., Lukashenko S. N., Kadyrova N. Zh. *Radionuklidy v organizme dikikh zhivotnykh semipalatinskogo ispytatel'nogo poligona* [Radionuclides in the wild animals body of the Semipalatinsk test site]. *Yadernaya i radiatsionnaya fizika: materialy 10 mezhdunar. konf.* [Nuclear



- and Radiation Physics: Materials of the 10th International Conference]. Kurchatov, NYaTs RK, 2015, pp. 137–138 (in Russian).
- Savitskiy I. M. The impact of nuclear tests at the Semipalatinsk test site on the environment and the population of Western Siberia during the “Cold War”. *Humanities in Siberia*, 2013, no. 4, pp. 87–91 (in Russian).
 - Izrael Yu. A. *Izotopnyy sostav radioaktivnykh vypadeniy* [Isotopic Composition of Radioactive Fallouts]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1973. 108 p. (in Russian).
 - Logachev V. A. *Mirnyye yadernyye vzryvy: obespecheniye obshchey i radiatsionnoy bezopasnosti pri ikh provedenii* [Peaceful nuclear explosions: providing general and radiation safety during their conduct]. Moscow, IzdAT, 2001. 519 p. (in Russian).
 - Elfving M., Evins L., Gontier M., Graham P., Mårtensson P., Tunbrant S. *Long-lived intermediate level waste from Swedish nuclear power plants*. Stockholm, Technical Report, 2014. 140 p.
 - Shen H., Jiang S., He M., Dong K., Ouyang Y., Li Zh., Guan Y., Yin X., Peng B., Zhou D., Yuan J., Wu S. AMS measurements of fission products at CIAE. *Journal of Nucl. Instr. Meth. Phys. B*, 2013, vol. 294, pp. 136–142. DOI: 10.1016/j.nimb.2012.06.019
 - Altzitzoglou T., Rožkov A. Standardisation of the ¹²⁹I, ¹⁵¹Sm and ^{166m}Ho activity concentration using the CIEMAT/NIST efficiency tracing method. *Journal of Applied Radiation and Isotopes*, 2016, vol. 109, pp. 281–285. DOI: 10.1016/j.apradiso.2015.12.048
 - Mikhaylov V. N., ed. *Yadernyye ispytaniya SSSR: v 4 t.* [Nuclear tests conducted in the USSR: in 4 vols.]. Moscow, IzdAT Publ., 1997, vol. 2. 303 p.
 - Shuichi Sumiya, Naomi Hayashi, Hiromi Katagiri, Osamu Narita. A radioanalytical method for samarium-151 and promethium-147 in environmental samples. *The Science of the Total Environment*, 1993, vol. 130/131, pp. 305–315. DOI: 10.1016/0048-9697(93)90085-K
 - Dewberry R. A., Boyce W. T., Bibler N. E., Ekechukwu A. E., Ferrara D. M. Separation and purification and beta liquid scintillation analysis of ¹⁵¹Sm in Savannah River Site and Hanford Site DOE high level waste. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 2002, vol. 252, no. 3, pp. 503–513. DOI: 10.1023/A:1015898619515
 - Dry E. D., Oldham J. W., Bowen M. S. Determination of ¹⁵¹Sm and ¹⁴⁷Pm using liquid scintillation tracer methods. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 2009, vol. 282, pp. 635–640. DOI: 10.1007/s10967-009-0330-1
 - Vajda N., Molnar Z., Bokori E., Osváth S., Párkányi D., Braun M. Validation of radiochemical methods for the determination of difficult-to-measure nuclides using LSC. *Abstract from International Conference on Advances in Liquid Scintillation Spectrometry*. Copenhagen, Denmark, 2017, pp. 50–51.
 - Vojtkovich G. V., Kokin A. V., Miroshnikov A. E., Prokhorov V. G. *Spravochnik po geokhimii* [Handbook of Geochemistry]. Moscow, Nedra Publ., 1990. 480 p. (in Russian).
 - Frumina N. S., Kruchkova E. S., Mushtakova S. P. *Analiticheskaya khimiya kal'tsiya* [Analytical Chemistry of Calcium]. Moscow, Nauka Publ., 1974. 252 p. (in Russian).
 - Poluektov N. S., Mishchenko V. T., Kononenko L. I., Belyukova S. V. *Analiticheskaya khimiya strontsiya* [Analytical Chemistry of Strontium]. Moscow, Nauka Publ., 1978. 223 p. (in Russian).
 - Nikolskiy B. P., Grigorov O. N., Pozin M. E. *Spravochnik khimika* [Chemical Handbook]. Leningrad, Khimiya Publ., 1967, vol. 4. 920 p. (in Russian).
 - Tikhonov V. N. *Analiticheskaya khimiya alyuminiya* [Analytical Chemistry of aluminum]. Moscow, Nauka Publ., 1971. 266 p. (in Russian).
 - Pyatnitskiy I. V. *Analiticheskaya khimiya kobal'ta* [Analytical chemistry of cobalt]. Moscow, Nauka Publ., 1965. 261 p. (in Russian).
 - Lurye Yu. Yu. *Spravochnik po analiticheskoy khimii* [Handbook of Analytical Chemistry]. Moscow, Khimiya Publ., 1989. 448 p. (in Russian).

Cite this article as:

Salmenbayev S. E., Nurgaysinova N. K., Umarov M. A. Pre-Concentration and Extraction of Samarium Isotopes by Precipitation of Slightly Soluble Hydroxides and Fluorides of Metals. *Izv. Saratov Univ. (N. S.), Ser. Chemistry. Biology. Ecology*, 2020, vol. 20, iss. 3, pp. 284–289 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2020-20-3-284-289>
