

УДК 539.163:546.94

ВОЗМОЖНОЕ СУЩЕСТВОВАНИЕ Hs В ПРИРОДЕ С ГЕОХИМИЧЕСКОЙ ТОЧКИ ЗРЕНИЯ

А. В. Иванов¹

Институт земной коры, Сибирское отделение РАН, Иркутск, Россия

С геохимической точки зрения рассмотрена гипотеза возможности существования долгоживущего изотопа ^{271}Hs в природных молибденитах и осмиридах. Показано, что наличие Hs в этих минералах можно объяснить, только сделав *ad hoc* допущение о существовании изобарной пары ^{271}Bh – ^{271}Hs . Проверить это допущение можно посредством масс-спектрометрических измерений изотопных сдвигов U, Pb, Kr, Xe и Zr.

A hypothesis of existence in natural molybdenites and osmirides of a long-lived isotope ^{271}Hs is considered from a geochemical point of view. It is shown that presence of Hs in these minerals can be explained only by making an additional *ad hoc* assumption on existence of isobaric pair of ^{271}Bh – ^{271}Hs . This assumption could be tested by mass-spectrometric measurements of U, Pb, Kr, Xe and Zr isotopic shifts.

Extraordinary claims require
extraordinary evidence.

Carl Sagan

ВВЕДЕНИЕ

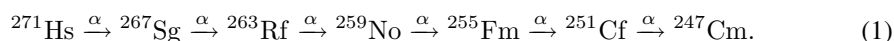
В недавнем выпуске журнала «Ядерная физика» А. Маринов и др. [1] привели расчетные периоды полураспада гипотетического изотопа ^{271}Hs от $1,3 \cdot 10^8$ до $1,8 \cdot 10^{11}$ лет в зависимости от различных принимаемых параметров деформации ядра. Цель этих расчетов заключалась в согласовании теоретических данных с указаниями на экспериментально обнаруженную α -активность с энергией $\sim 4,4$ МэВ в некоторых природных объектах [2–4]. В данном сообщении с геохимической точки зрения рассматривается возможность нахождения Hs в молибдените и осмириде, в которых была обнаружена эта избыточная α -активность [2, 4]. Обсуждение проблемы существования долгоживущих сверхтяжелых элементов с точки зрения теоретической и экспериментальной физики проводится в работах [5–9] и др.

1. ИСТОРИЯ ВОПРОСА

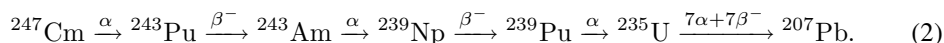
В начале 60-х гг. прошлого столетия В. В. Чердынцев и др. [10, 11] α -спектрометрическим методом обнаружили избыток ^{235}U в магнетите и молибдените, требующий присутствия в природе трансуранового радиоактивного элемента. Последующие работы были

¹E-mail: aivanov@crust.irk.ru

направлены на идентификацию этого трансуранового элемента α -спектрометрическим методом. В работах [2–4] в препаратах природных объектов различного возраста и генезиса (ископаемые костные останки, минералы магматических пород, железный метеорит и др.) обнаружена неидентифицированная α -активность в интервале энергий 4,2–4,6 МэВ, а также определено наличие энергетического спектра, отождествляемого с ^{239}Pu . Кроме того, в ряде препаратов фиксировались энергетические спектры ^{243}Am . В работах [2–3] сделано предположение, что α -активность в интервале энергий 4,2–4,6 МэВ связана с ^{247}Cm , который, посредством двух β^- - и двух α -распадов превращается в ^{239}Pu , а сам является продуктом распада радиоактивного изотопа еще более тяжелого трансуранового элемента. По химическим свойствам этот трансурановый элемент походил на осмий [3]. В работе [4] проанализированы различные фракции осмиридия после химической пробоподготовки и также выявлена α -активность с энергией $\sim 4,4$ МэВ. Для объяснения наблюдаемого феномена высказано предположение о возможном существовании долгоживущего сверхтяжелого элемента с химическими свойствами осмия, известного в настоящее время под названием хассий (Hs, элемент 108). Предполагалась следующая цепь радиоактивных превращений между гипотетическим долгоживущим изотопом ^{271}Hs и ^{247}Cm :



^{247}Cm посредством последовательных α - и β^- -распадов превращается в стабильный изотоп ^{207}Pb с промежуточным долгоживущим изотопом ^{235}U ($T_{1/2} = (703,8 \pm 0,5) \times 10^6$ лет [12]):



Исходя из оцененной распространенности эмиттера α -частиц с энергией $\sim 4,4$ МэВ в работе [2] вычислен период полураспада ^{247}Cm как $(2,5 \pm 0,5) \cdot 10^8$ лет, что на порядок больше экспериментально установленного значения $(1,56 \pm 0,05) \cdot 10^7$ лет [12]. Позднее период полураспада $(2,5 \pm 0,5) \cdot 10^8$ лет был приписан ^{271}Hs [1].

Несмотря на важность результатов [2–4, 10, 11] и вытекающих из этих результатов следствий, они не проверялись в дальнейшем. В то же время указания на обнаружение α -активности с энергией $\sim 4,4$ МэВ в торите из гранита Конвей (Англия) [13] не были подтверждены более поздними исследованиями тех же самых образцов [14, 15].

2. ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИСУТСТВИЯ Hs В МОЛИБДЕНИТЕ И ОСМИРИДЕ

Известно, что Hs является гомологом Os [16]. Это позволяет рассмотреть возможность присутствия Hs в природных образцах по аналогии с распространенностью в них Os. Рассмотрим молибденит и осмирид — минералы, которые исследовались α -спектрометрическим методом в работах [2, 4]. Геологическое описание мест отбора проб изученных минералов крайне ограничено. Однако эти минералы являются типоморфными для магматических пород, что позволяет распространить известные геохимические характеристики этих минералов на изученные пробы.

Молибденит (MoS_2) кристаллизуется в подчиненном количестве в некоторых типах кислых (гранитных) магм. Иногда он образует скопления в гранитах, но чаще встречается в зонах гидротермальной проработки. В целом, молибденит можно рассматривать как минерал, образование которого исключительно связано с процессами, происходящими в земной коре. Молибденит повсеместно используется для Re–Os-датирования, поэтому распределение Re и Os в нем хорошо изучено [17–21 и ссылки в этих работах]. Сразу обращает на себя внимание, что этот минерал изначально не содержит осмия. Весь осмий в нем представлен изотопом ^{187}Os , который накапливается в ходе геологического времени в результате β^- -распада ^{187}Re . Исходя из этого представляется маловероятным, чтобы молибденит мог захватывать сколько-нибудь значимое количество Hs, если этот элемент присутствует в природе. Таким образом, либо следует поставить под сомнение результаты работ [2–4, 10, 11], либо требуется предположить, что изотоп ^{271}Hs является продуктом распада изотопа какого-то другого сверхтяжелого элемента. Таким изотопом мог бы быть гипотетический долгоживущий β^- -активный изотоп ^{271}Bh (борий, элемент 107). Учитывая, что Bh является гомологом Re [22], а Re обычно содержится в молибденитах в большом количестве (десятые доли процента), можно ожидать, что Bh, если он существует в природе, при образовании молибденита будет захватываться кристаллической решеткой этого минерала.

Иными словами, наличие в молибденитах Hs требует предположения о существовании достаточно долгоживущего β^- -активного ^{271}Bh или гомолога молибдена — ^{271}Sg (сиборгий, элемент 106), который посредством двух β^- -распадов превращается в ^{271}Hs . Если это допущение верно, тогда присутствие ^{271}Hs в молибдените находит логичное объяснение с точки зрения геохимических свойств этого минерала.

Осмирид — природный сплав осмия и иридия с примесями других платиноидов, характерный для пород ультраосновного состава (перидотитов). Он связан с процессами, происходящими в мантии Земли [23–25 и ссылки в этих работах]. Учитывая, что Os в этом минерале является основным элементом, следует ожидать, что Hs, если он существует в мантии Земли, должен присутствовать в этом минерале в значимом количестве наряду с Os.

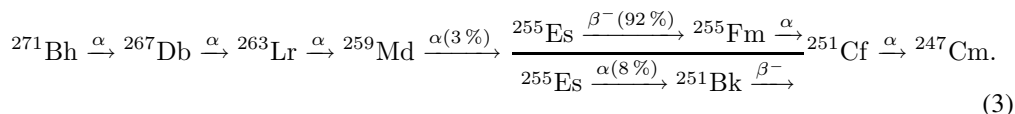
Допустим, что оценка периода полураспада ^{271}Hs ($2,5 \pm 0,5$) · 10^8 лет верна [2]. Тогда практически весь ^{271}Hs , попавший на Землю во время ее формирования ~ 4,5 млрд лет назад, должен был бы распастись. Сверхтяжелые элементы образуются при взрывах сверхновых и, возможно, присутствуют в космических лучах высоких энергий [26]. Это позволяет предположить существование непрерывного притока на Землю сверхтяжелых элементов вместе с космической пылью, усиливающегося при прохождении солнечной системы через спиральные рукава нашей галактики. Косвенным образом на это может указывать обнаружение ^{239}Pu в железомарганцевых конкрециях дна Тихого океана и Финского залива [3]. В мантию Земли сверхтяжелые элементы могли бы попадать посредством субдуцирования океанических осадков (погружения океанической плиты в мантию Земли в нисходящей ветви мантийной конвекции). Этот процесс попадания океанических осадков в мантию надежно задокументирован посредством геолого-геофизических и геохимических исследований [27–29 и ссылки в этих работах].

Рассмотрим еще одну возможность попадания Hs в мантию Земли. Для этого допустим, что ^{271}Hs является продуктом β^- -распада ^{271}Bh . Согласно современным геохимическим представлениям Re преимущественно концентрируется в металлическом ядре Земли [30, 31]. Исходя из этого, можно предположить, что ядро обогащено ^{271}Bh и

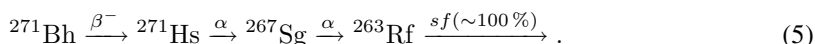
продуктом его распада ^{271}Hs . Одни авторы считают, что вещество ядра, обогащенное радиогенным изотопом ^{187}Os (и соответственно ^{271}Hs согласно нашему допущению), может переноситься к поверхности Земли восходящими конвективными потоками (плюмами) [32]. В частности, такая интерпретация предложена для некоторых осмиридов [33]. Другие авторы отвергают принципиальную возможность обмена веществом между ядром и верхней мантией [34, 35] или допускают только ограниченный обмен вещества [36]. Обогащение вулканических пород и осмиридов радиогенным ^{187}Os можно также объяснить сугубо за счет процессов, протекающих в верхней мантии [37] (см. обзор по проблеме [38]).

3. ДИСКУССИЯ

Из предыдущего раздела видно, что гипотеза присутствия Hs в природных минералах молибдените и осмириде не может быть принята без ряда дополнительных *ad hoc* допущений. Кроме того, предполагавшаяся в [4] цепь распадов (уравнение (1)), возможно, не существует в природе вообще, так как согласно новым данным ^{263}Rf распадается путем спонтанного деления, а не α -распада [12, 39]. Однако, принимая допущение о сосуществовании долгоживущих изотопов Hs и Bh в молибдените, можно предположить следующую цепочку радиоактивных превращений:



При этом основная часть продуктов деления будет представлена осколками спонтанного деления:



Изотопы ^{271}Bh , ^{271}Hs , ^{267}Sg , ^{267}Db и ^{263}Lr пока что не были получены экспериментально и поэтому цепочки распада (3), (4) и (5) весьма гипотетичны.

Таким образом, идея о присутствии долгоживущих изотопов Hs в некоторых природных объектах [2–4] в результате обнаружения избыточной активности ^{235}U , ^{239}Pu и не идентифицированной α -активности с энергией $\sim 4,4$ МэВ в различных природных объектах, не может быть принята без дополнительных допущений. Учитывая, что данные работ [2–4, 10, 11] не подвергались экспериментальной проверке, существует насущная необходимость такой проверки. В природных образцах, обогащенных гипотетическим изотопом ^{271}Hs , следует ожидать аномального обогащения изотопом ^{235}U , а в древних образцах (сотни миллионов – миллиарды лет) — еще и обогащения изотопом ^{207}Pb . Кроме того, должны наблюдаться изотопные сдвиги Kr, Xe, Zr и других элементов, образующихся при спонтанном делении. До подтверждения этих эффектов прямыми масс-спектрометрическими методами попытка интерпретации данных работ [2–4, 10, 11] в контексте существования сверхтяжелых элементов в природе, по-видимому, не является целесообразной.

ВЫВОДЫ

Рассмотрена обсуждавшаяся в литературе [1–4, 10, 11] гипотеза присутствия в природных объектах долгоживущего изотопа Hs, основанная на экспериментальных данных α -спектрометрии. Исходя из геохимических свойств Os (гомолога Hs) и Re (гомолога Bh) сделан вывод, что для объяснения этих экспериментальных данных требуется допущение о существовании изобарной пары ^{271}Bh – ^{271}Hs . Данное допущение требует проверки посредством измерения изотопных сдвигов U, Pb, Kг, Хе и Zr в природных объектах (например, молибденитах) посредством прямых масс-спектрометрических измерений.

Работа выполнена в рамках гранта РФФИ 05-05-64281. Автор благодарит А. А. Балдина за поддержку и В. В. Кобычева за полезные замечания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Marinov A. et al.* New outlook on the possible existence of superheavy elements in nature // *Phys. At. Nucl.* 2003. V. 66. P. 1137–1145.
2. *Чердынцев В. В., Михайлов В. Ф.* Первозданный заурановый изотоп в природе // *Геохимия.* 1963. № 1. С. 3–15.
3. *Чердынцев В. В. и др.* Плутоний-239 в природе // *Геохимия.* 1968. № 4. С. 395–401.
4. *Meier H. et al.* Über die Existenz einer unbekanntenen natürlichen α -Aktivität im 4.3–4.6 MeV-Bereich // *Z. Naturforsch.* 1970. Bd. 25. S. 79–87.
5. *Оганесян Ю. Ц.* Могут ли существовать в природе сверхтяжелые элементы? // *Краткие сообщ. ОИЯИ.* 1996. № 6. С. 49–58.
6. *Oganessian Yu.* Synthesis and decay properties of superheavy atoms in nuclear reactions induced by stable and radioactive ion beams // *Eur. Phys. J. A.* 2002. V. 13. P. 135–141.
7. *Собищевски А.* Современное представление о стабильности тяжелых и сверхтяжелых ядер // *УФН.* 1996. Т. 166. С. 943–948.
8. *Hofmann S.* Techniques for the discovery of new elements // *Nucl. Instr. Meth. B.* 1997. V. 126. P. 310–315.
9. *Royer G.* Alpha emission and spontaneous fission through quasi-molecular shapes // *J. Phys. G: Nucl. Part. Phys.* 2000. V. 26. P. 1149–1170.
10. *Чердынцев В. В. и др.* Избыток ^{235}U в магнетите с повышенным содержанием актиния // *Геохимия.* 1960. № 4. С. 373–374.
11. *Чердынцев В. В. и др.* Изотопы урана в природных условиях. II. Изотопный состав минералов // *Геохимия.* 1961. № 10. С. 840–848.
12. *Голашвили Т. В. и др.* Справочник нуклидов-2: М.: ЦНИИАтоминформ, 2002. 348 с.
13. *Cherry R. D., Richardson K. A., Adams J. A. S.* Unidentified excess alpha-activity in the 4.4-MeV region in natural thorium samples // *Nature.* 1964. V. 202. P. 639–641.

14. *Петржак К.А., Якунин М.И., Тер-Акопян Г.М.* К вопросу о неидентифицированной α -активности торита // АЭ. 1972. Т. 32. С. 179–181.
15. *Gentry R. V. et al.* Reinvestigation of the α -Activity of Conway Granite // Nature. 1978. V. 273. P. 217–218.
16. *Düllmann Ch. E. et al.* Chemical investigation of hassium (element-108) // Nature. 2002. V. 418. P. 859–862.
17. *Иванов А. В., Палесский С. В.* Анализ изотопных отношений осмия методом ICP-MS при химическом травлении молибденита: приложение к Re–Os-датированию с предварительной нейтронной активацией // Геохимия. 2003. № 10. С. 1121–1126.
18. *Raith J. G., Stein H. J.* Re–Os dating and sulfur isotope composition of molybdenite from tungsten deposits in western Namaqualand, South Africa: implications for ore genesis and the timing of metamorphism // Mineral. Deposita. 2000. V. 35. P. 741–753.
19. *Selby D. et al.* Re–Os and U–Pb geochronology of the Clear Creek, Dublin Gulch, and Mactung deposits, Tombstone Gold Belt, Yukon, Canada: absolute timing relationships between plutonism and mineralization // Can. J. Earth. Sci. 2003. V. 40. P. 1839–1852.
20. *Stein H. J. et al.* The remarkable Re–Os chronometer in molybdenite: How and why it works? // Terra Nova. 2001. V. 13. P. 479–486.
21. *Stein H. J. et al.* Re–Os ages for Archean molybdenite and pyrite, Kuittila-Kivisio, Finland and Proterozoic molybdenite, Kibeliali, Lithuania: testing the chronometer in a metamorphic and metasomatic setting // Mineral. Deposita. 1998. V. 33. P. 329–345.
22. *Eichler R. et al.* Chemical characterization of bohrium (element 107) // Nature. 2000. V. 407. P. 63–65.
23. *Meibom A., Frei R.* Evidence for an ancient osmium isotopic reservoir in Earth // Science. 2002. V. 296. P. 516–518.
24. *Meibom A., Frei R., Sleep N. H.* Osmium isotopic compositions of Os-rich platinum group element alloys from the Klamath and Siskiyou Mountains // J. Geophys. Res. B. 2004. V. 109. Art. No. B02203.
25. *Meibom A. et al.* Re–Os isotopic evidence for long-lived heterogeneity and equilibration processes in the Earth's upper mantle // Nature. 2002. V. 419. P. 705–708.
26. *Perelygin V. P. et al.* On search and identification of tracks due to short-lived SHE nuclei in extraterrestrial crystals // Rad. Meas. 2003. V. 36. P. 271–279.
27. *Morris J., Valentine R., Harrison T.* Be-10 imaging of sediment accretion and subduction along the northeast Japan and Costa Rica convergent margins // Geology. 2002. V. 30. P. 59–62.
28. *Davidson J. P.* Lesser Antilles isotopic evidence of the role of subducted sediment in island-arc magma genesis // Nature. 1983. V. 306. P. 253–256.
29. *White W. M., Dupre B.* Sediment subduction and magma genesis in the Lesser Antilles — isotopic and trace-element constraints // J. Geophys. Res. B. 1986. V. 91. P. 5927–5941.
30. *Walker R. J., Morgan J. W., Horan M. F.* Os-187 enrichment in some plumes — evidence for core-mantle interaction // Science. 1995. V. 269. P. 819–822.

31. *Walker R. J. et al.* Applications of the Pt-190–Os-186 isotope system to geochemistry and cosmochemistry // *Geochim. Cosmochim. Acta.* 1997. V. 61. P. 4799–4807.
32. *Brandon A. D. et al.* Os-186–Os-187 systematics of Hawaiian picrites // *Earth Planet. Sci. Lett.* 1999. V. 174. P. 25–42.
33. *Bird J. M. et al.* Osmium and lead isotopes of rare OsIrRu minerals: derivation from the core-mantle boundary region? // *Ibid.* V. 170. P. 83–92.
34. *Anderson D. L.* Top-down tectonics // *Science.* 2001. V. 293. P. 216–218.
35. *Foulger G. R., Natland J. H.* Is «hotspot» volcanism a consequence of plate tectonics // *Science.* 2003. V. 300. P. 921–922.
36. *Балышев С. В., Иванов А. В.* Низкоплотностные аномалии в мантии: всплывающие плюмы и/или разогретые погребенные литосферные плиты? // *Докл. РАН.* 2001. Т. 380. С. 523–527.
37. *Smith A. D.* Critical evaluation of Re–Os and Pt–Os isotopic evidence on the origin of intraplate volcanism // *J. Geodynamics.* 2003. V. 36. P. 469–484.
38. *Ivanov A. V., Balyshev S. O.* Mass flux across the lower-upper mantle boundary: vigorous, absent or limited? // *Foulger G. R. et al. Plates, Plumes & Paradigms.* Geological Society of America. Princeton, 2005. Special Paper 388. P. 327–346.
39. *Kratz J. V. et al.* An EC-branch in the decay of 27-s ²⁶³Db: Evidence for the isotope ²⁶³Rf // *Radiochimica Acta.* 2003. V. 91. P. 59–62.

Получено 24 января 2005 г.