

Российская Академия наук  
Отделение наук о Земле РАН  
Институт геологии рудных месторождений, петрографии,  
минералогии и геохимии РАН  
Научный совет РАН по проблемам геохимии  
Межведомственный совет по рудообразованию

**III** Российская конференция  
по изотопной геохронологии

**ИЗОТОПНОЕ ДАТИРОВАНИЕ  
ПРОЦЕССОВ РУДООБРАЗОВАНИЯ, МАГМАТИЗМА,  
ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ И МЕТАМОРФИЗМА**

*6-8 июня 2006 г.,  
Москва, ИГЕМ РАН*

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

ТОМ I

ГЕОС  
Москва 2006

А.В. Иванов<sup>1</sup> (ivanov@stud1.fk.ru),  
В.В. Кобышев<sup>2</sup> (vladislav.kobyshev@gmail.com),  
Х.Дж. Штейн<sup>3,4</sup> (hstein@walletergpl.colostate.edu)  
**Ограничения на период полураспада <sup>187</sup>Re по  
геохронологическим данным и сопоставления с данными  
счетных экспериментов**

Усовершенствованная процедура измерения изотопных отношений осмия, разложения пробы, уравновешивания изотопного состава между пробой и трассером и т.д. привели к тому, что Re-Os метод датирования по аналитической точности становится в один ряд с U-Pb методом датирования. Основным лимитирующим фактором для широкого применения Re-Os метода датирования остается неопределенность для периода полураспада <sup>187</sup>Re. В настоящее время при расчетах Re-Os возраста используется значение  $T_{1/2} = 41.6$  млрд лет ( $\lambda = 1.666 \times 10^{-11} \text{ лет}^{-1}$ ), полученное по результатам сравнения Re-Os изохроны по железным метеоритам группы IVA и IIIA с Rb-Pb возрастом ангритовых метеоритов [Smoliar et al., 1996]. Статистическая ошибка из расчета разброса точек на Re-Os изохроне для периода полураспада <sup>187</sup>Re составляет 0.3 %, а систематическая, учитывающая неопределенности в калибровании изотопного трассера — 1 %. Проблема использования этой константы распада заключается в том, что (а) она получена из апрорного допущения об однородности ангритовых и железных метеоритов и (б) Re-Os метод оказывается «привязанным» к U-Pb изотопной системе, т.е. теряет свою самостоятельность, как независимый метод. Оптимально было бы использовать константу распада, полученную либо в радиохимическом, либо счетном эксперименте. По данным радиохимического эксперимента значение  $T_{1/2}$  составляет 42.3 млрд лет с ошибкой 3 % [Lindner et al., 1989], слишком высокой для целей прецизионной геохронологии. Определение периода полураспада <sup>187</sup>Re в счетном эксперименте является нетривиальной технической задачей, так как энергия бета распада <sup>187</sup>Re составляет всего 2.47 КэВ. Рекордные по аналитической точности счетные эксперименты были выполнены с использованием криогенной болометрии, однако полученные значения ( $T_{1/2} = 41.2 \pm 0.2_{\text{stat}} \pm 1.1_{\text{sys}}$  млрд лет [Salvazzi et al., 2001] и  $43.2 \pm 0.2_{\text{stat}} \pm 0.1_{\text{sys}}$  млрд лет [Amthold et al., 2003]) статистически отклоняются друг от друга. Задачей этого сообщения является установление ограничений на период полураспада <sup>187</sup>Re исходя из сопоставления датировок земных пород и метеоритов, полученных в Re-Os и U-Pb изотопных системах.

Для сопоставления Re-Os и U-Pb датировок мы собрали данные по тринадцати магматическим объектам из девятнадцати публикаций, дополнив

<sup>1</sup> ИЖ СО РАН, Иркутск  
<sup>2</sup> КИЯИ НАН Украины, Киев  
<sup>3</sup> AIRIE Program, Colorado State University, Fort Collins  
<sup>4</sup> Geological Survey of Norway, Trondheim

их тремя неопубликованными Re-Os датировками программы AIRIE (руководитель Х.Дж. Штейн). В результате набралось пятнадцать пар Re-Os и U-Pb датировок в диапазоне возрастов от 2.7 млрд лет до 65 млн лет (рисунк). Аналитические данные описаны линейной функцией  $Y = AX$  (где  $Y$  и  $X$  — Re-Os и U-Pb датировки, соответственно). Использовался пакет MINUIT программного комплекса ROOT [Brunel and Rademakers, 1997]. Коэффициент  $A$  функции  $Y = AX$  по всем парам Re-Os и U-Pb датировок равен  $1.0014 \pm 0.0012$  (std), указывая на незначительное «уравнение» Re-Os датировок. Если для пары Kullbåla заменить Re-Os датировку из работы [Stein et al., 1998], новой датировкой группы AIRIE, а U-Pb датировку из работы [Selby et al., 2003] для Macing U-Pb датировкой из работы [Nat et al., 2004] и исключить пару Dabbling Gulch, то коэффициент  $A$  становится неотличимым от 1 (рис. 1). Учитывая, что выбор пар Re-Os и U-Pb датировок для сопоставления является отчасти субъективным, для получения ограничений на период полураспада <sup>187</sup>Re целесообразно использовать максимальный разброс в коэффициенте  $A$  на уровне  $2\sigma$  ( $1.0014 + 0.0012 \times 2 = 0.9985 - 0.0012 \times 2$ ). По этим данным  $T_{1/2}$  находится в пределах  $41.4 - 41.8$  млрд лет ( $\lambda$  находится соответственно в пределах от  $1.674 \times 10^{-11}$  до  $1.658 \times 10^{-11} \text{ лет}^{-1}$ ). Этот диапазон должен быть расширен с учетом ошибок в константах распада <sup>238</sup>U и <sup>235</sup>U. Учет этих ошибок осуществим только посредством пересчета исходных данных U-Pb датирования, что приведет не только к увеличению ошибок параметра  $\delta t/t$ , но и самих значений (а, следовательно, и знаменителю коэффициента  $A$ ). Поскольку часть U-Pb датировок, использованных в нашей работе при сопоставлении, опубликована только в тезисном виде, то корректный учет ошибок констант распада <sup>235</sup>U и <sup>238</sup>U на данный момент оценить невозможно (по крайней мере, для выбранного набора U-Pb и Re-Os пар датировок).

Re-Os датировка железных метеоритов отражает время кристаллизации ядра родительского астероида. Космохимическими работами последних лет было показано, что выделение железного ядра крупных астероидов произошло ~ 0–4 млн лет после формирования древнейших объектов Солнечной системы — кальций-алюминиевых включений (CAIs) в хондрите Альенде [Lugmair and Shukolyukov, 1998; Yin et al., 2002; Kleine et al., 2002]. Время кристаллизации ядра зависит от размера астероида и его состава. Модельные расчеты показывают, что ядро астероида с исходным радиусом ~ 100–250 км может остывать до ~ 500 °C в течение первых сотен миллионов лет [Nettleton and Rowe, 1973; Ghosh and McSwegen Jr., 1998]. Как отмечают в ряде работ, космохимические данные по железным метеоритам указывают на их быструю кристаллизацию и делают предположение, что они, скорее всего, представляют фрагменты малых родительских астероидов размером менее 100 км в радиусе [Sheen et al., 2002]. В тоже время, в Re-Os датировании железных метеоритов остается один неразрешенный вопрос — Re-Os изохроны метеоритов IVA и IIIA, а для метеоритов группы IVA древнее изохроны метеоритов IVA и IIIA, а для другой молодежи с разбросом между изохронами, превышающим 100 млн лет

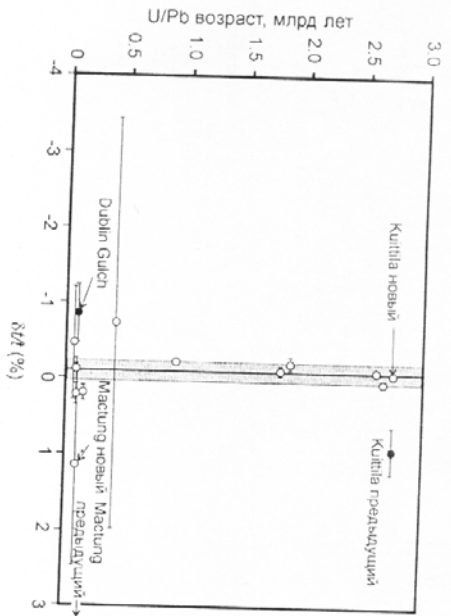


Рис. Сопоставление U-Pb и Re-Os датировок по земным породам  $\delta^{18}O$  – различие между датировками в %, рассчитанное как  $[(^{238}U/^{235}U)_{\text{Re-Os}} - 1] \times 100$ . Верхняя линия жирная линия с серым цветом соответствует коэффициенту  $\delta^{18}O = 0.998554(0.0012)$  ( $\sigma$ ), полученному только с учетом пар, обогатившихся не закрытыми кругами

[Shea et al., 1996; Nolan et al., 1998]. Из этих данных следуют ограничения на период полураспада  $^{187}\text{Re}$  – он должен находиться в таком диапазоне, чтобы возраст Re-Os изохрона по метеоритам групп IIIA и IIIA не превышал Rb-Rb возраста CAIs (4.56 млрд лет) и не был меньше возраста ~4.55 млрд лет (т.е. ~100 млн лет может возрасту CAIs). Используя эти ограничения и включая аналитическую и систематическую ошибку в константах распада  $^{235}\text{U}$  и  $^{238}\text{U}$  (Jaferu et al., 1971), пределы для периода полураспада  $^{187}\text{Re}$  составляют 42.3–40.2 млрд лет (а находится соответственно в пределах от  $1.637 \times 10^{11}$  до  $1.724 \times 10^{11}$  лет<sup>-1</sup>). Верхний предел определен с 95% достоверным интервалом. Нижний предел оценен ориентировочно, исходя из допущения, что кристаллизация метеоритов групп IIIA и IIIA астероида на силикатную мантию и железное ядро. Здесь мы используем длительный интервал, чтобы получить заведомо нижний предел периода полураспада  $^{187}\text{Re}$ .

Результаты ботометрических счетных экспериментов генуэзской группы [Salvaggi et al., 2001] согласуются с предположенным в этой работе интервалом периода полураспада  $^{187}\text{Re}$ , тогда как значение, предложенное в эксперименте миланской группы [Amadori et al., 2003], оказывается существенно выше. Вероятно, это происходит из-за недоучета потенциалных систематических ошибок в работе последней группы.

Работа выполнена в рамках проекта РФФИ 05-05-64281. Длин из авторов (И.А.В.) также благодарит Фонд содействия отечественной науке за финансовую поддержку. Вклад Ш.Х.Дж. поддержан национальным научным фондом США, Эвардом М. Варнером и геологической службой Норвегии.

#### Литература

- Amadori S., Voffeno C., Stenoni D., Fiorini E., Lo Bianco S., Marinazzo L., Nicotri A., Fazio M., Pizzini G., Pirro S., Previali E., Sisti M., Giallini F., Margesin B., Zan M. Volcanic bounds on the aluminosilicate mass // *Phys. Rev. Lett.* 2003. V. 91. P. 161802-1-161802-4.
- Bran R., Kadmiarski F., ROOT. An object oriented data analysis framework // *Nucl. Instrum. Meth. A.* 1997. V. 389. P. 81-86.
- Chen J.H., Rapanoskizov D.A., Wasserburg G.J. Re-Os and Pd-Ag systematics in group IIIAB iron and in pallasites // *Geochim. Cosmochim. Acta* 2002. V. 66. P. 3793-3810.
- Galazzi M., Fontana F., Gail F., Fiala S. End-Point Energy and Half-Life of the  $^{187}\text{Re}$   $\beta$  Decay // *Phys. Rev. C* 2001. V. 63. P. 014302-1-014302-7.
- Hart C.J.R., Villeneuve M.E., Mar J.L., Goldfarb R.J., Selby D., Creaser R.A., Nijms S. Comparative U-Pb, Re-Os, and Ar-Ar geochronology of mineralizing plutons in Yukon and Alaska // *Society of Economic Geology Abstract Volume Perth* 2004. P. 347-349.
- Thost A., Mckwegel H. A thermal model for the differentiation of asteroid 4 Vesta, based on radiogenic heating // *Earth* 1998. V. 134. P. 187-206.
- Kleine T., Münker C., Mezger K., Palme H. Rapid accretion and early core formation on asteroids and the terrestrial planets from Hf-W chronometry // *Nature* 2002. V. 418. P. 952-955.
- Nolan J.M., Rowe M.B. Thermal models of inhomogeneously accreted meteorite parent bodies // *Nature Phys. Sci.* 1973. V. 244. P. 40-41.
- Nolan M.F., Smoliar M.L., Walker R.J.  $^{187}\text{Re}$ - $^{187}\text{Os}$  systematics of iron meteorites: chronology for melting, differentiation, and crystallization in asteroids // *Geochim. Cosmochim. Acta* 1998. V. 62. P. 545-554.
- Jaferu A.H., Flynn K.F., Glendon L.F., Bentley W.C., Estling A.M. Precision measurement of half-lives and specific activities of  $^{235}\text{U}$  and  $^{238}\text{U}$  // *Phys. Rev. C* 1971. V. 4. P. 1889-1906.
- Linde M., Lech D.A., Russ G.P., Bizzzi J.M., Borg R.J. Direct determination of the half-life of  $^{187}\text{Re}$  // *Geochim. Cosmochim. Acta* 1989. V. 53. P. 1597-1606.
- Ludwig G.W., Smoliar M.L. Early solar system timescales according to  $^{54}\text{Mn}$ - $^{54}\text{Cr}$  systematics // *Geochim. Cosmochim. Acta* 1998. V. 62. P. 2863-2886.
- Selby D., Creaser R.A., Hanson L.M., Hart C.J.R. Re-Os and U-Pb geochronology of the Clear Creek, Dublin Gulch, and Maitling deposits, Tombstone Gold Belt, Yukon, Canada: absolute timing relationships between plutonism and mineralization // *Can. J. Earth Sci.* 2003. V. 40. P. 1839-1852.
- Shea J.J., Parmetstein D.A., Wasserburg G.J. Precise Re-Os determinations and systematics of iron meteorites // *Geochim. Cosmochim. Acta* 1996. V. 60. P. 2887-2900.
- Smoliar M.L., Walker R.J., Morgan J.W. Re-Os ages of group IIIA, IIIA, IVA, and IVB iron meteorites // *Science* 1996. V. 271. P. 1099-1102.
- Sten H.J., Smoliar M.L., Markov R.J., Morgan J.W., Mokka G. Re-Os ages for Achaean muondemite and rutile, Kutilla-Kivikko, Finland and Proterozoic polydeformed, Kivikkala, Lithuania: testing the chronometer in a metamorphic and metasomatic setting // *Mineralium Deposita* 1998. V. 33. P. 329-345.
- Van D., Jacobsen S.V., Yamashita K., Wasserburg G.J., Teyssie P., Albarède F. A short timescale for terrestrial planet formation from Hf-W chronometry of meteorites // *Nature* 2002. V. 418. P. 949-951.