



Масс-спектрометрия с электронной ионизацией

Масс-спектрометрия с электронной ионизацией, предложенная еще в начале прошлого века [1], является наиболее часто применяемым методом для изотопного анализа газов. Используемый в ЦКП масс-спектрометр ARGUS VI (Thermo Fisher Scientific, выпущен в 2010 г.) [2], представляет собой современную модель классического масс-спектрометра Нировского [3] типа. Особенность масс-спектрометра ARGUS VI заключается в одновременном детектировании пяти масс при помощи чашек Фарадея, расположенных таким образом, чтобы анализировать изотопы природных и искусственных изотопов аргона. Он характеризуется высокой чувствительностью (~ 1 А/бар) и отменной стабильностью. Последнее, частично связано с низкой разрешающей способностью (~ 200). Для анализа изотопов аргона в горных породах и минералах, масс-спектрометр соединен с резистивной печью двойного вакуума и CO_2 лазером с длиной волны 10.6 мкм (Photon-Machines, выпущен в 2015 г.), в которых аргон выделяется из твердых образцов при нагревании и плавлении, а также системой очистки газа. Вся система находится под высоким вакуумом (10^{-9} мбар), что позволяет достигнуть высокого соотношения сигнал/фон.



Оборудование

На масс-спектрометрическом комплексе ARGUS VI в ЦКП выполняется изучение геологических процессов при помощи $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ и K-Ar геохронологических методов. Они основываются на радиоактивном распаде ^{40}K в ^{40}Ar . Технические особенности методов описаны в зарубежных и российских учебниках и монографиях [4-6], в том числе с участием сотрудников ЦКП [5-6].

Область применения

Наиболее оптимальными образцами для датирования являются вулканические породы и их калий-содержащие минералы. В этом случае, момент запуска изотопных часов является очевидным – время кристаллизации вулканической породы, что в масштабе геологического времени соответствует времени вулканического извержения. В принципе $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ и K-Ar методы позволяют датировать вулканические образования с возрастом от первых тысяч лет [7] вплоть до времени образования Земли, однако оптимальный диапазон составляет от первых миллионов до сотен миллионов лет. Верхний предел обусловлен малым количеством радиогенного ^{40}Ar , а нижний возрастной предел зависит от степени сохранности датируемого образца, которая оценивается классическими петрографическими методами. Аналитическая точность $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ датировок может быть лучше 0.1% от возраста датируемого образца. Однако систематические погрешности, вызванные использованием различных стандартов и неопределенностями в константах распада ^{40}K , ограничивают точность $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ метода в 1-2%. Аналитическая точность K-Ar метода составляет несколько процентов, однако его рекомендуется использовать в диапазоне от сотен тысяч лет до первых миллионов лет. Хотя существуют примеры удачного использования K-Ar метода и для более древних образцов. Имеются планы прямого датирования пород этим методом на других планетах [8].

Кроме вулканических пород $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ метод успешно применяется для датирования новообразованных калий-содержащих минералов в гидротермальных, метасоматических и метаморфических процессах, а также при датировании метеоритов и импактитов.

Список литературы по методу

1. Dempster A.J. A new method of positive ray analysis // *Physical Review*, 1918, v. 18, p. 316-325.
2. Barfod D.N., Mark D.F., Imlach J.G., Stuart F.M., Hamilton D. The ARGUS multi-collector mass-spectrometer: 40Ar-39Ar mineral age standards // *Geophys. Res. Abs.*, 2008, v. 10, EGU-2008-A-08824.
3. Nier O.A. A mass spectrometer for isotope and gas analyses // *Rev. Sci. Instrum.*, 1947, v. 18, p. 398-411.
4. McDougall I., Harrison T.M. *Geochronology and Thermochronology by the 40Ar/39Ar Method*. Oxford University Press, Second edition, 1999.
5. Скляр Е.В., Гладкоhub Д.П., Донская Т.В., Иванов А.В., Летникова Е.Ф., Миронов А.Г., Бараш И.Г., Буланов В.А., Сизых А.И. Интерпретация геохимических данных. Уч. пособие. Москва: Интермет-инженеринг, 2001. 288 с.
6. Рассказов С.В., Брандт С.Б., Брандт И.С., Иванов А.В., Ясныгина Т.А., Демонтерова Е.И., Ильясова А.М. Радиоизотопная геология в задачах и примерах. Новосибирск: Наука, фиал «Гео», 2005, 288 с.
7. Renne P.R., Sharp W.D., Deino A.L., Orsi G., Civetta L., 40Ar/39Ar dating into the historical realm: Calibration against Pliny the Younger // *Science*, 1997, v. 277, 1279-1280.
8. Cohen B.A., Miller J.S., Li Z.H., Swindle T.D., French R.A. The potassium-argon laser experiment (KArLE): In situ geochronology for planetary robotic missions // *Geostand. Geonalyt. Res.*, 2014, v. 38, p. 421-439.

Список статей с геохронологическими данными, полученными при помощи масс-спектрометрического комплекса ARGUS VI с момента его запуска в мае 2011 г. по конец 2015 г., приведен в хронологическом порядке ниже [9-14].

9. Ivanov A.V., He H., Yan L., Ryabov V.V., Shevko A.Y., Palesskii S.V., Nikolaeva I.V. Siberian Traps Large Igneous Province: Evidence for two flood basalt pulses around the Permo-Triassic boundary and in the Middle Triassic, and contemporaneous granitic magmatism // *Earth Sci. Rev.*, 2013, v. 122, p. 58-76.
10. Киселев А.И., Ярмолюк В.В., Иванов А.В., Егоров К.Н. Пространственно-временные отношения среднепалеозойских базитов и алмазоносных кимберлитов на северо-западном плече Вилюйского рифта (Сибирский кратон) // *Геология и геофизика*, 2014, т. 55, №2, с. 185-196.
11. Ivanov A.V., Demonterova E.I., He H., Perepelov A.B., Travin A.V., Lebedev V.A. Volcanism in the Baikal rift: 40 years of active-versus-passive model discussion // *Earth Sci. Rev.*, 2015, v. 148, p. 18-43.
12. Соловьева Л.В., Калашникова Т.В., Костровицкий С.И., Иванов А.В., Мацюк С.С., Суворова Л.Ф. Метасоматические и магматические процессы в мантийной литосфере Биректинского террейна Сибирского кратона и их влияние на эволюцию литосферы // *Геодинамика и тектонофизика*, 2015, т. 6, с. 311-344.
13. Ivanov A.V., Vanin V.A., Demonterova E.I., Gladkochub D.P. Donskaya T.V. Application of the 'no fool's clock' to dating the Mukodek ore field, Siberia, Russia // *Ore Geol. Rev.*, 2015, v. 69, p. 352-359.
14. Резницкий Л.З., Школьник С.И., Иванов А.В., Демонтерова Е.И., Летникова Е.Ф., Хунг Ч.-Х., Чунг С.-Л. Герцинский Икатский надвиг в Забайкальском сегменте Центрально-Азиатского складчатого пояса // *Геология и геофизика*, 2015, т. 56, №12, С. 2118-2133.

