**Методика проведения изотопных исследований**

U-Pb датирование *цирконов* осуществлялось на прецизионном вторично-ионном микрозонде высокого разрешения SHRIMP-II (Sensitive High Resolution Ion Micro Probe II) в ЦИИ ФГБУ ВСЕГЕИ.

Отобранные вручную зерна цирконов были имплантированы в эпоксидную смолу вместе с зернами цирконовых стандартов TEMORA и 91500. Далее зерна цирконов были сошлифованы и приполированы приблизительно на половину своей толщины. Затем на шайбу наносилось золотое покрытие в установке катодно-вакуумного распыления в течение одной минуты при силе тока 20 mA. Для выбора участков (точек) датирования использовались оптические изображения (в проходящем и отраженном свете) и изображения в режимах обратно рассеянных электронов (BSE) и катодолюминесценции (CL), отражающие внутреннюю структуру и зональность цирконов. Накопление изображений в режимах BSE и CL проводилось на сканирующем электронном микроскопе CamScan MX2500. Рабочее расстояние составляло 30.5 мм, ускоряющее напряжение - 12 kV, ток практически полностью сфокусированного пучка на цилиндре Фарадея – 7 nA.

Измерения U-Pb отношений на SHRIMP-II проводились по методике, описанной в статье (Williams, 1998). Интенсивность первичного пучка молекулярных отрицательно заряженных ионов кислорода составляла ~ 3 нА, диаметр пятна (кратера) составлял ~ 20-25 мкм. Обработка полученных данных осуществлялась с использованием программ SQUID v1.13 (Ludwig, 2001). U-Pb отношения нормализовались на значение 0.0668, приписанное стандартному циркону TEMORA, что соответствует возрасту этого циркона 416.75 млн лет (Black et al., 2003). В качестве концентрационного стандарта использовался стандарт циркона 91500 с известным содержанием урана 81.2 ppm (Wiedenbeck et al., 1995).

Концентрации рения и осмия в *молибдените* определялись методом изотопного разбавления в ЦИИ ФГБУ ВСЕГЕИ. Для анализа использвоались химические реагенты класса чистоты «supra pure» (сверхчистые, производства «Merk») или трижды дистиллированные «лабораторной чистоты». К образцу в виде зерен минерала добавлялся изотопный трассер 185Re-190Os, после добавления к этой смеси 1 мл 11N HCl кварцевый сосуд объемом 15 мл выдерживался в течение 30 минут при температуре -20°С для предотвращения преждевременной реакции с HNO3. Затем в сосуд добавлялось 3 мл 14N HNO3 и сосуд закрывался тефлоновой крышкой. Растворение производилось в этих кварцевых сосудах в течение 2 часов при температуре 250°С и давлении 130 бар в специальном высокочастотном реакторе высокого давления UltraCLAVE IV («Milestone»).

Химическая сепарация осмия производилась по методике бромовой экстракции и микродистилляции (Birck et al., 1997). Рабочий раствор образца после растворения переносился в 5 мл PFA бюкс (производства Savillex) и добавлялся 1 мл брома, после чего закрытый крышкой бюкс нагревался в течение 60 мин при температуре 120°C. Фракция брома оттягивалась с использованием микропипетки и переносилась в 7 мл тефлоновый бюкс и выпаривалась с добавлением 0.3 мл HBr до последней капли. Эта капля наносилась на внутреннюю часть крышки конической PFA виалы (производства «Savillex») и там выпаривалась. Затем к осадку добавлялась 1 капля 40% раствора бихромата натрия в 12N H2SO4, а в коническую часть виалы помещалось 5 µл HBr. Перевернутая коническая виала выдерживалась на плитке с температурой 80°С в течение 4 часов. При этом фракция осмия в виде газообразного окисла OsO4 эффективно экстрагировалась каплей HBr.

Раствор кислот HCl-HNO3 после бромовой экстракции выпаривался досуха на плитке при температуре 80°С, а сухой осадок переводился в азотнокислый раствор добавлением 3 мл 2N HNO3 и центрифугировался в 5 мл центрифужной пробирке. Фракция рения экстрагировалась 2 мл изоамилола и 2 мл воды по методике (Birck et al., 1997). Полученная фракция раствора рения выпаривалась.

Изотопные составы осмия и рения измерялись в отрицательно-заряженных ионах на твердофазном многоколлекторном масс-спектрометре высокого разрешения Triton TI (Thermo Scientific) на умножителе в динамическом режиме регистрации ионных токов. Для коррекции измеренных изотопных отношений на приборное масс-фракционирование использовалось изотопное отношение 192Os16O3/188Os16O3 природного состава 3.092016. Стандартный раствор DROsS использовался для проверки правильности учета изотопного фракционирования и среднее отношение 187Os/188Os для этого стандарта в течение измерений составило 0.160928 ± 0.000029 (n=7). Фракция осмия или рения наносилась на платиновую ленту испарителя (толщина × ширина: 0.025 мм × 0.5 мм, чистотой Pt 99.999 %) в капле HBr и покрывалась 0.2 µl смеси Ba(OH)2+NaOH. Температура платиновых лент в источнике масс-спектрометра при выполнении анализов составляла 730-750°С. При измерении осмия использовались ионные токи изотопов следующих отрицательно заряженных окислов: 185ReO3, 186OsO3, 187OsO3, 188OsO3, 190OsO3, 192OsO3. При измерении рения использовались ионные токи изотопов следующих отрицательно заряженных окислов: 185ReO4, 187ReO4. Каждое измерение состояло из 30 единичных последовательных замеров вышеуказанных изотопов длительностью по 4 секунды каждое. Средний состав международного стандарта серпентинита UB-N, относительно которого оценивалась воспроизводимость применяемой методики: Re 0.2218 ± 0.0064 ppb, Os 3.65 ± 0.12 ppb, 187Re/188Os 0.292 ± 0.014, 187Os/188Os 0.127176 ± 0.000091 хорошо согласуется с опубликованными данными (Meisel et al., 2003).

Литература

Birck, J.L., Barman, M.R., Capmas, F. (1997). Re-Os isotopic measurements at the femtomole level in natural samples. *Geostandards Newrletter*, 20, 19-27.

Black, L.P., Kamo, S.L., Allen, C.M., Aleinikoff, J.N., Davis, D.W., Korsch, R.J., Foudoulis, C. (2003). TEMORA 1: a new zircon standard for U-Pb geochronology. *Chemical Geology*, 200, 155-170.

Ludwig, K.R. (2001) SQUID 1.02. A User`s manual. *Berkeley Geochronology Center. Special Publication,* 2.

Meisel, Th., Reisberg, L., Moser, J., Carignan, J., Melcher, F., Brügmann, G. (2003). Re-Os systematics of UB-N, a serpentinized peridotite reference material. *Chemical Geology*, 201, 161-179.

Wiedenbeck, M., Alle, P., Corfu, F., Griffin, W.L., Meier, M, Oberli, F., von Quadt, A., Roddick, J.C., Spiegel, W. (1995). Three natural zircon standards for U-Th-Pb, Lu-Hf, trace element and REE analysis. *Geostandard Newsletter*, 19, 1-3.

Williams, I.S. (1998). U-Th-Pb Geochronology by Ion Microprobe. In: McKibben, M.A., Shanks III, W.C. and Ridley, W.I. (eds), Applications of microanalytical techniques to understanding mineralizing processes. *Reviews in Economic Geology*, 7, 1-35.