

Программа мантийных термометров и барометров, использование: реконструкции и калибровки РТ методов

И. В. Ащепков

Институт геологии и минералогии СО РАН, Новосибирск

Ключевые слова: Мантия, термобарометрия, слоистость, литосфера, РТ программа

Ссылка: Ащепков, И. В. (2011) Программа мантийных термометров барометров, использование: реконструкции и калибровки РТ методов, *Вестник ОНЗ РАН*, 3, NZ6008, doi:10.2205/2011NZ000138.

Описание программы

В оригинальной программе написанной на ФОРТРАНЕ собраны наиболее надежные методы минеральных термометров (45) и барометров (36) и оксибарометров, в том числе оригинальные мономинеральные и методы для мантийных перидотитов по клинопироксену, гранату, хромиту и ильмениту [Ashchepkov *et al.*, 2010]. Они проверены с использованием минеральных фаз из опытов в перидотитовой и пирокенитовой системах (380 опытов) [Brey *et al.*, 1990; 2008 и др.] а также для эклогитовой системы (240 опытов) [Dasgupta *et al.*, 2006 и др.]. Программа читает текстовые файлы, которые конвертируются из Excel. Изначально данные представляют силикатные анализы минералов на 12 компонентов в стандартном порядке: SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, Cr₂O₃, FeO, MnO, MgO, CaO, Na₂O, K₂O, NiO, V₂O₃ с 2-3 знаками после разделителя разрядов в качестве которого используется точка. Текстовый файл включает 15 колонок по 8 символов. Первая колонка – имя ассоциации которое одинаково для всех минералов в ассоциации. Вторая колонка индикаторный символ для минерала, который центрирован влево. E-энстатит, D - диопсид, O-оливин, S-шпинель или хромит, G- грант, I – ильменит, A- амфибол, F – флогопит, P-плагиоклаз, L- расплав, R- валовый состав породы. Последняя 15я колонка содержит описание ассоциации или минералов (64 или 32 символа в разных версиях программы). Мономинеральные методы используют рассчитанные Fe#O1. С пульта вводятся данные (8 символов) (A8), затем количество РТ пар номеров для термометров и барометров (212) и один для FO2 метода. Программа позволяет ввод числа итераций (25 по умолчанию). Кроме того, можно задавать предварительные значения температуры и давления (по умолчанию 1000°C и 40 кбар) и считать с фиксированными температурами или давлениями. Можно проводить вычисления с рассчитанными по стехиометрии Fe³⁺ для всех минералов.

Программа читает составы, минералов определяя их по индексам, рассчитывает формульные коэффициенты и заполняя две виртуальные матрицы для валового состава и формульных коэффициентов, РТ вычисления начинаются, когда появляется новое имя. Переход к заданным барометрам и термометрам происходит по номерам и считается по каждой паре в цикле, пока не разница в температуре не достигнет 1° или заданного числа итераций. Затем программа переходит к следующей паре. Значения рассчитанных пар записываются в виртуальную матрицу. При переходе к следующей ассоциации результаты для всех пар (до 15-ти) записываются в строку в CSV (через запятую) формате совместно с составами минералов или формульных коэффициентов по выбору, а также некоторыми вычисленными параметрами: составами сосуществующих оливинов Fe#O1, а также Cr# and Fe³⁺ для хромитов и пироксенов. Описание ассоциации также записывается перед результатами вычислений. Формат CSV легко конвертируются Excel или Grapher и файлы могут быть использованы статистическими пакетами. Число минеральных ассоциаций неограниченно, 20000 ассоциаций считаются ~30 секунд при частоте процессора ~3000. В программе заблокированы ошибки чтения и основные возможные при вычислениях, при неудаче записываются Р и Т =2000, которые легко заменяются пробелами в электронных таблицах, так как 0 удалить сложно.

Специальная разновидность программы работает с экспериментальными данными, считывая РТ параметры опытов и составы экспериментальных фаз из работ [Dasgupta *et al.*, 2006; Brey *et al.*, 1990, 2008 и тп]. В выводимом файле РТ параметры опытов и вычисленные записываются в строки вместе с составами фаз. Это позволяет получать корреляции составов

АЩЕПКОВ: МАНТИЙНЫЕ ТЕРМОМЕТРЫ И БАРОМЕТРЫ

минералов и РТ параметров опытов, а также зависимости разницы между экспериментальными и вычисленными РТ параметрами от составов минералов, расплавов или исходных пород.

Применение

Новая версия Crx барометра [Ashchepkov et al., 2003-2011] была получена с использованием 300 экспериментальных опытов для перидотитов пироксенитов и базальтов. Данный клинопироксеновый барометр [Ashchepkov et al., 2011] дает неплохие калибровочные графики и хорошее согласие с оценками по наиболее надежным методам мантийной термобарометрии [Brey and Kohler, 1990; Krogh, 1988; Nimis and Taylor, 2000; McGregor, 1974; O'Neill and Wood, 1979; Taylor et al., 1998; O'Neill and Wall, 1987] (Рис.1-3,5).

Усовершенствованная версия гранатового барометра [Ashchepkov et al., 2008; 2010] дает гораздо лучшие корреляции с экспериментальными [Brey, G.P. and Kohler, 1990; Brey et al., 2009], а также согласуется с определениями для гранатов – включений в алмазы [Logvinova et al., 2005; Sobolev et al., 1984] алмаз-содержащих ассоциаций [Grutter et al., 2006; Sobolev et al., 1984] (Рис.3). Сравнение диаграмм основанных на экспериментальных данных $Cr/(Cr+Al)(Cr \#)$ -Р и значений давления по гранатовому барометру и ортопироксеновому барометру обнаруживает что природные ассоциации отвечают более высоким давлениям чем минимальные определенные по экспериментам (Рис.4) [Turkin and Sobolev, 2009].

Новая измененная версия включает методы для расчетов Т и Р по данным высокой точности редких элементов для оливина [Sobolev et al., 2009; De Hoog, 2010]. Определения по мономинеральным методам для оливина обнаруживают хорошую сходимость с определениями по пироксенам (Ashchepkov et al., 2010).

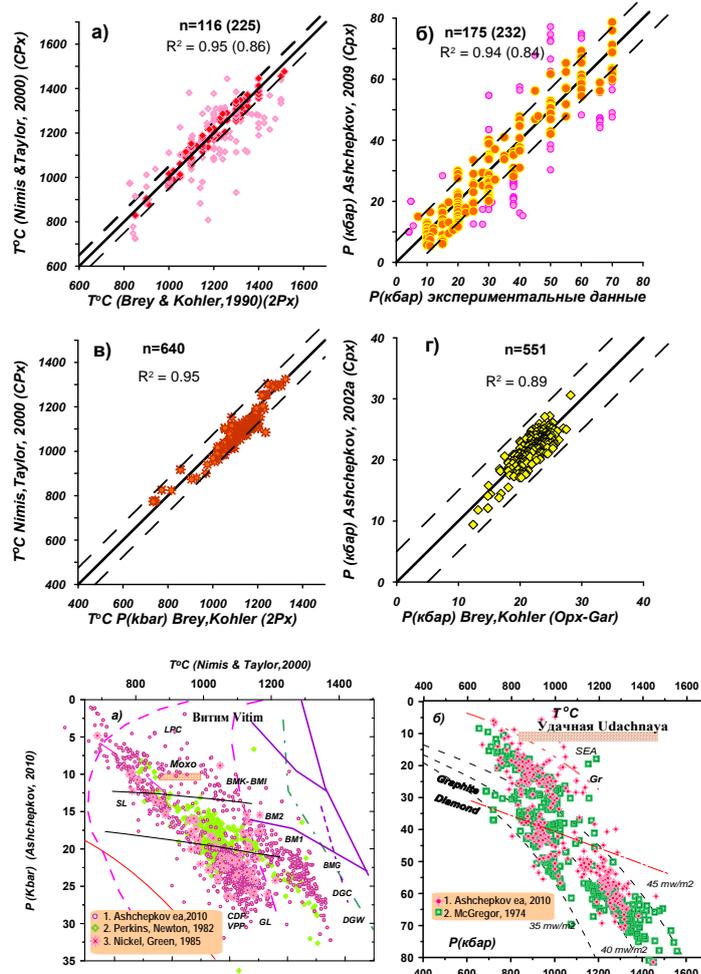


Рис. 1. Корреляция между определениями по универсальному Crx барометру, [Ashchepkov et al., 2011] и условиями экспериментов (б) перидотитовой системе и (г) сравнения с определениями по Cr-Tschermakite барометру [Nimis and Taylor, 2000].

Рис. 2. Определение (температуры и) давления по универсальному клинопироксеновому барометру [Ashchepkov, 2011] в сравнении с ортопироксеновым методом для ксенолитов из базальтов Витимского плато (а) для ксенолитов из тр. Удачная (б) [Boyd et al., 1997; Ionov et al., 2010].

АЩЕПКОВ: МАНТИЙНЫЕ ТЕРМОМЕТРЫ И БАРОМЕТРЫ

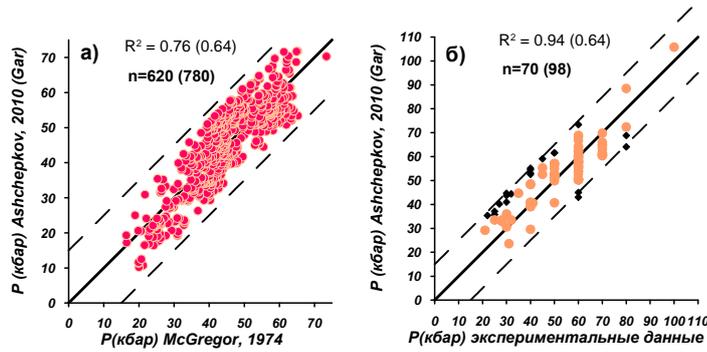


Рис. 3. Корреляции: а) значения давления, определенному по [McGregor, 1974] и гранатовому у барометр [Ashchepkov et al., 2010]; с коррекциями. б) Корреляции между оценками от уравнению гранатового барометра и экспериментально данными.

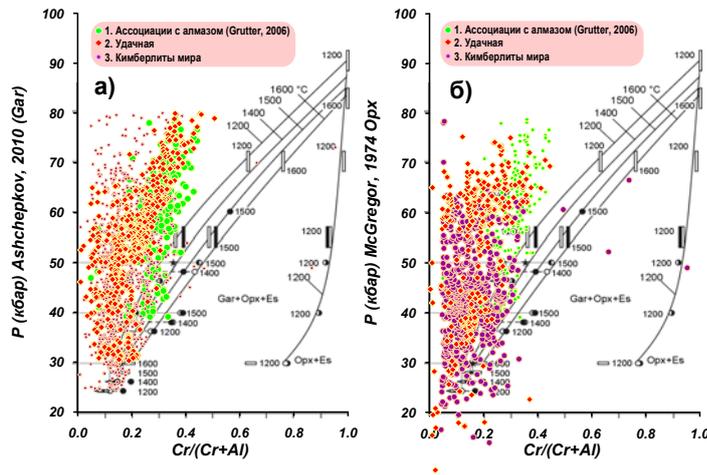


Рис. 4. Диаграмма Cr/Cr+Al - P (kbar) [Turkin and Sobolev, 2009] полученная по экспериментальным данным с помощью мономинеральной гранатовой термобарометрии (а) и по Орх барометру (б)[McGregor, 1974] для 1- Udachnaya [Boyd, et al., 1997; Ashchepkov et al., 2010; Pokhilenko et al., 1999; Sobolev, 1977]; 2. Diamond associations [Grutter et al., 2006; Sobolev et al., 1984; Logvinova et al., 2005]; 3. Worldwide kimberlites [Sobolev, 1977; Burgess and Harte, 2004; Simon et al., 2007 etc].

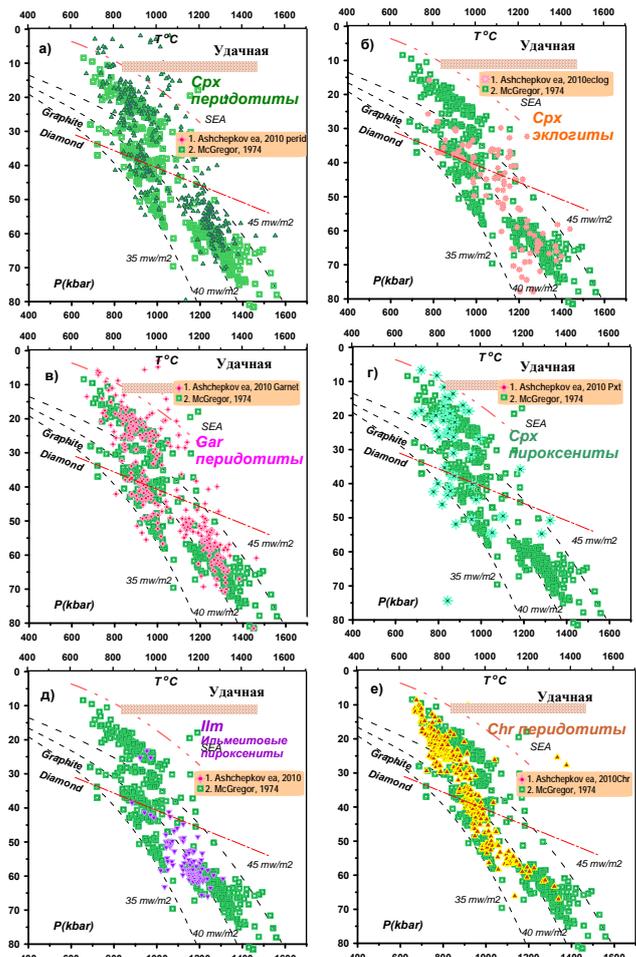


Рис. 5. PT оценки по уточненным уравнениям мономинеральных термометров и барометров [Ashchepkov et al., 2010] для различных типов ассоциаций мантийных пород их тр. Удачная в сравнении с определениями по Орх барометру [McGregor, 1974], данные по [Boyd, et al., 1997; Ashchepkov et al., 2010; Pokhilenko et al., 1999; Sobolev, 1977].

Для работы с программой Grapher вычисленные значения давлений записываются совместно с Fe# или другими параметрами, включая редкие элементы в других колонке и

АЩЕПКОВ: МАНТИЙНЫЕ ТЕРМОМЕТРЫ И БАРОМЕТРЫ

расстояниях между объектами в третьей. Это позволяет получить довольно детальную картину мантии под Далдынским полем Якутии. По-разному минералы и их мономинеральные термобарометрические с методы дают наклонение слоев мантии к востоку. Сравнение данных полученных для Индии У. Гриффином обнаруживает более детальную слоистость, чем та, которая реконструирована оригинальной статье [Griffin et al., 2009].

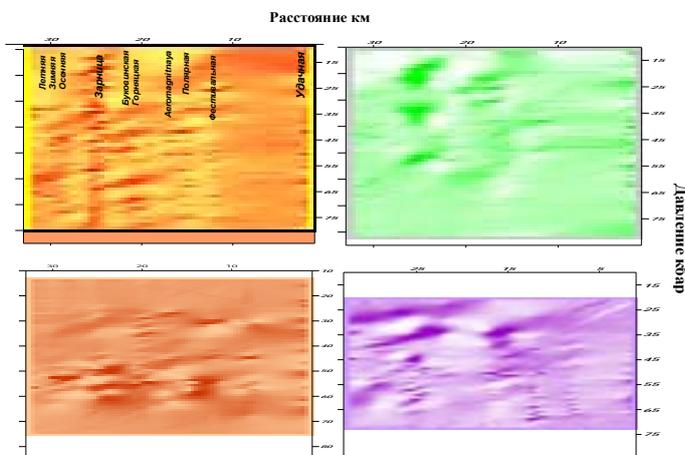


Рис. 6. Мантийный разрез для Далдынского кимберлитового поля Якутии от тр. Зарница до Удачная данные из [Ashchepkov et al., 2010].

Работа выполнена при поддержке РФФИ, Грант 11-05-00060а.

Литература

Ashchepkov, I. V., N. P. Pokhilenko, N. V. Vladykin, A. M. Logvinova, S. I. Kostrovitsky, V. P. Afanasiev, L. N. Pokhilenko, S. S. Kuligin, L. V. Malygina, N. V. Alymova, O. S. Khmelnikova, S. V. Palessky, I. V. Nikolaeva, M. A. Karpenko, Y. B. Stagnitsky (2010) Structure and evolution of the lithospheric mantle beneath Siberian craton, thermobarometric study. *Tectonophysics*, Vol. 485, pp. 17-41.

Ashchepkov, I. V., N. P. Pokhilenko, N. V. Vladykin, A. Y. Rotman, V. P. Afanasiev, A. M. Logvinova, S. I. Kostrovitsky, L. N. Pokhilenko, M. A. Karpenko, S. S. Kuligin, E. V. Malygina, Y. B. Stegnitsky, N. A. Alymova, O. S. Khmelnikova (2008) Reconstruction of mantle sections beneath Yakutian kimberlite pipes using monomineral thermobarometry. *Geological Society, London, Special Publications*, Vol. 293. pp. 335-352.

Ashchepkov, I. V., L. André, H. Downes, B. A. Belyatsky (2011) Pyroxenites and megacrysts from Vitim picrite-basalts (Russia): polybaric fractionation of rising melts in the mantle? *Journal Asian Earth Sciences* (in press).

Ashchepkov, I. V., N. V. Vladykin, A. M. Logvinova, S. S. Kuligin, L. V. Malygina, L. N. Pokhilenko, N. V. Alymova, S. I. Mityukhin (2009) Using of the monomineral thermobarometers for the reconstruction of the mantle lithosphere structure. *Vestn. Otd.nauk o Zemle RAN. № 1(27)*.

Ashchepkov, I. V. (2003). More precise equation of the Jd-Di Barometer. *Herald of the Earth department RAS. № 1*. pp. 45-46.

Ashchepkov, I. V., T. Ntaflos, N. V. Vladykin, D. A. Ionov, S. S. Kuligin, L. V. Malygina, L. N. Pokhilenko, A. M. Logvinova, S. I. Mityukhin, S. V. Palessky, O. S. Khmelnikova, A. Ya. Rotman (2010) *Deep seated xenoliths from the phlogopite-bearing brown breccia of Udachnaya pipe. Deep-seated magmatism, its sources and plumes*, Irkutsk, pp. 164-186. Edited by Dr. N. V. Vladykin

Brey, G. P., T. Kohler (1990) Geothermobarometry in four phase lherzolites II: new thermobarometers and practical assessment of using thermobarometers. *Journal of Petrology*, Vol. 31, pp. 1353-1378.

Brey, G. P., T. Kohler, K. G. Nickel (1990). Geothermobarometry in four-phase lherzolites I. Experimental results from 10 to 60 kbar. *Journal of Petrology Vol. 31*, pp. 1313-1352.

Brey, G. P., Bulatov V. K., A. V. Giris (2008) Geobarometry for Peridotites: Experiments in Simple and Natural Systems from 6 to 10 GPa. *Journal of Petrology, Vol.41/1*, pp. 3-24

Boyd, F.R., N. P. Pokhilenko, D. G. Pearson, S. A. Mertzman, N. V. Sobolev, L. W. Finger (1997) Composition of the Siberian cratonic mantle: evidence from Udachnaya peridotite xenoliths. *Contrib. Mineral. Petrol. Vol. 128*, pp. 228-246.

Burgess, S. R., B. Harte (2004) Tracing lithosphere evolution through the analysis of heterogeneous G9-G10 garnets in peridotite xenoliths, II: REE chemistry. *Journal of Petrology*, Vol 45. Iss. 3. pp. 609-634.

Dasgupta, R., M. M. Hirschmann, K. Stalker (2006) Immiscible Transition from Carbonate-rich to Silicate-rich Melts in the 3 GPa Melting Interval of Eclogite + CO₂ and Genesis of Silica-undersaturated Ocean Island Lavas *Journal of Petrology*, Vol. 47, pp. 647-671.

De Hoog, J. C., L. Gall, D. H. Cornell (2010) Trace-element geochemistry of mantle olivine and application to mantle petrogenesis and geothermobarometry. *Chemical Geology*, Vol. 70, pp. 196-215.

Griffin, W.L., A. F. Kobussen, E. V. S. S. K. Babu, S. Y. O'Reilly, R. Norris, P. Sengupta (2009) A translithospheric suture in the vanished 1-Ga lithospheric root of South India: Evidence from contrasting lithosphere sections in the Dharwar Craton. *Lithos 112S*, pp. 1109–1119.

Grutter, H. S., D. Latti, A. H. Menzies (2006) Cr-Saturation Arrays in Concentrate Garnet Compositions from Kimberlite and their Use in Mantle Barometry. *Journal of Petrology*, Vol. 47, N 4, pp. 801-820.

Krogh, E. J. (1988). The garnet-clinopyroxene Fe-Mg geothermometer a reinterpretation of existing experimental data. *Contrib. Mineral. Petrol.* Vol. 99, pp. 44-48.

Logvinova, A. M., L. A. Taylor, C. Floss, N. V. Sobolev (2005) Geochemistry of multiple diamond inclusions of harzburgitic garnets as examined in-situ. *International Geology Review*, Vol. 47, pp. 1223-1233.

McGregor, I. D. (1974) The system MgO–Al₂O₃–SiO₂: solubility of Al₂O₃ in enstatite for spinel and garnet–spinel compositions. *American Mineralogist*, Vol. 59, pp. 110–119.

Nimis P., W. Taylor (2000) Single clinopyroxene thermobarometry for garnet peridotites. Part I. Calibration and testing of a Cr-in-Cpx barometer and an enstatite-in-Cpx thermometer. *Contrib. Mineral. Petrol.* Vol. 139, pp. 541-554.

Nickel, K. G., D. H. Green (1985) Empirical thermobarometry for garnet peridotites and nature of lithosphere, kimberlites and diamonds. *Earth. Planet. Sci. Lett.* Vol. 73, pp. 153-170.

O'Neill, H. St. C., B. J. Wood (1979) An experimental study of Fe-Mg- partitioning between garnet and olivine and its calibration as a geothermometer. *Contrib Mineral Petrol* Vol. 70, pp. 59-70.

Pokhilenko, N. P., N. V. Sobolev, S. S. Kuligin, N. Shimizu (1999) Peculiarities of distribution of pyroxenite paragenesis garnets in Yakutian kimberlites and some aspects of the evolution of the Siberian craton lithospheric mantle. *Proceedings of the VII International Kimberlite Conference. The P.H. Nixon volume.* pp. 690-707.

Pokhilenko, N. P., D. G. Pearson, F. R. Boyd, N. V. Sobolev (1991) Megacrystalline dunites: sources of Siberian diamonds. *Carnegie Institute Washington. Yearbook.* Vol. 90, pp. 11-18.

Pokhilenko, N. P., N. V. Sobolev, S. D. Chernyi, Yu. T. Yanygin (2000) Pyropes and chromites from kimberlites in the Nakyn field (Yakutia) and Snipe Lake district (Slave River re-gion, Canada): evidence for anomalous structure of the lithosphere. *Dokl. Earth Sci.* Vol. 372, pp. 638–642.

O'Neill, H. St. C., V. J. Wall (1987) The olivine orthopyroxene-spinel oxygen geobarometer, the nickel precipitation curve, and the oxygen fugacity of the Earth's upper mantle. *Journal of Petrology*, Vol. 28, pp. 1169-1191.

Simon, N. S. C., R. W. Carlson, D. G. Pearson, G. R. Davies (2007) The Origin and Evolution of the Kaapvaal Cratonic Lithospheric Mantle. *Journal Petrology*, Vol.48, pp. 589-625.

Sobolev, N. V., N. V. Pokhilenko, E. S. Efimova (1984) Xenoliths of diamond bearing peridotites in kimberlites and problem of the diamond origin. *Russian Geol. Geophys.* Vol. 25/12, pp. 63-80.

Sobolev, N. V. (1977) *Deep-Seated Inclusions in Kimberlites and the Problem of the Composition of the Mantle.* Amer. Geophys.Union, Washington, DC. 279 p.

Sobolev, N. V., A. M. Logvinova, D. A. Zedgenizova, N. P. Pokhilenk, E. V. Malygina, D. V. Kuzmin, A. V. Sobolev (2009) Petrogenetic significance of minor elements in olivines from diamonds and peridotite xenoliths from kimberlites of Yakutia. *Lithos 112, S2*, pp. 701-713.

Taylor, W. R., M. Kammerman, R. Hamilton (1998) New thermometer and oxygen fugacity sensor calibrations for ilmenite and chromium spinel-bearing peridotitic assemblages. *7th International Kimberlite Conference. Extended abstracts. Cape town.* pp. 891-901.

Turkin, A. I., N. V. Sobolev (2009) Pyrope–knorringite garnets: overview of experimental data and natural parageneses, *Russian Geology and Geophysics*, Vol. 50, pp. 1169-1182.