

*И.С. Чащухин, С.Л. Вотяков, С.Г. Уймин, В.Н. Быков*

## **О ПРИРОДЕ УЛЬТРАМАФИТОВ МАССИВОВ КРАКА (ЮЖНЫЙ УРАЛ)**

Мнение о связи становления альпинотипных ультрамафитов Урала с формированием океанической коры общепринято. Однако если офиолитовая природа (по [8]) дунит-гарцбургитовых массивов дискуссий не вызывает, то генезис существенно лерцолитовых трактуется по-разному. Применительно к Уралу, где широко представлены оба типа массивов, одни исследователи не сомневаются в принадлежности гарцбургит-лерцолитовых серий к офиолитам и подчеркивают их аналогию с соответствующими ультрамафитами современных океанов [11, 24], другие, основываясь на сходстве петро- и геохимических особенностей этих ультрамафитов с породами «мантийных диапиров» и нодулей в кимберлитах и щелочных базальтах, относят их к субконтинентальным образованиям [6, 10, 12, 20], предшествующим формированию собственно офиолитов [6].

Известно, что на Урале существенно лерцолитовые массивы входят в состав в основном двух поясов ультрамафитов: Зилаирского (Крака, Медногорский) и Главного, приуроченного к Главному уральскому разлому – Нурали, Миндяк и др. [11]. Геологические данные последних лет свидетельствуют о формировании поясов в разных геодинамических обстановках: первый – в условиях рифтинга восточного края Восточно-Европейской плиты [5, 24], второй – в условиях синхронного ( $O_1-O_2$ ) с рифтингом спрединга дна, расположенного к Ю-ЮВ океанического бассейна [25]. Результаты проведенных нами в последние годы исследования вещественного состава ультрамафитов ряда уральских гарцбургит-лерцолитовых массивов, во-первых, подтверждают различия тектонических обстановок формирования ультрамафитов этих поясов. во-вторых, позволяют высказать сомнение в офиолито-

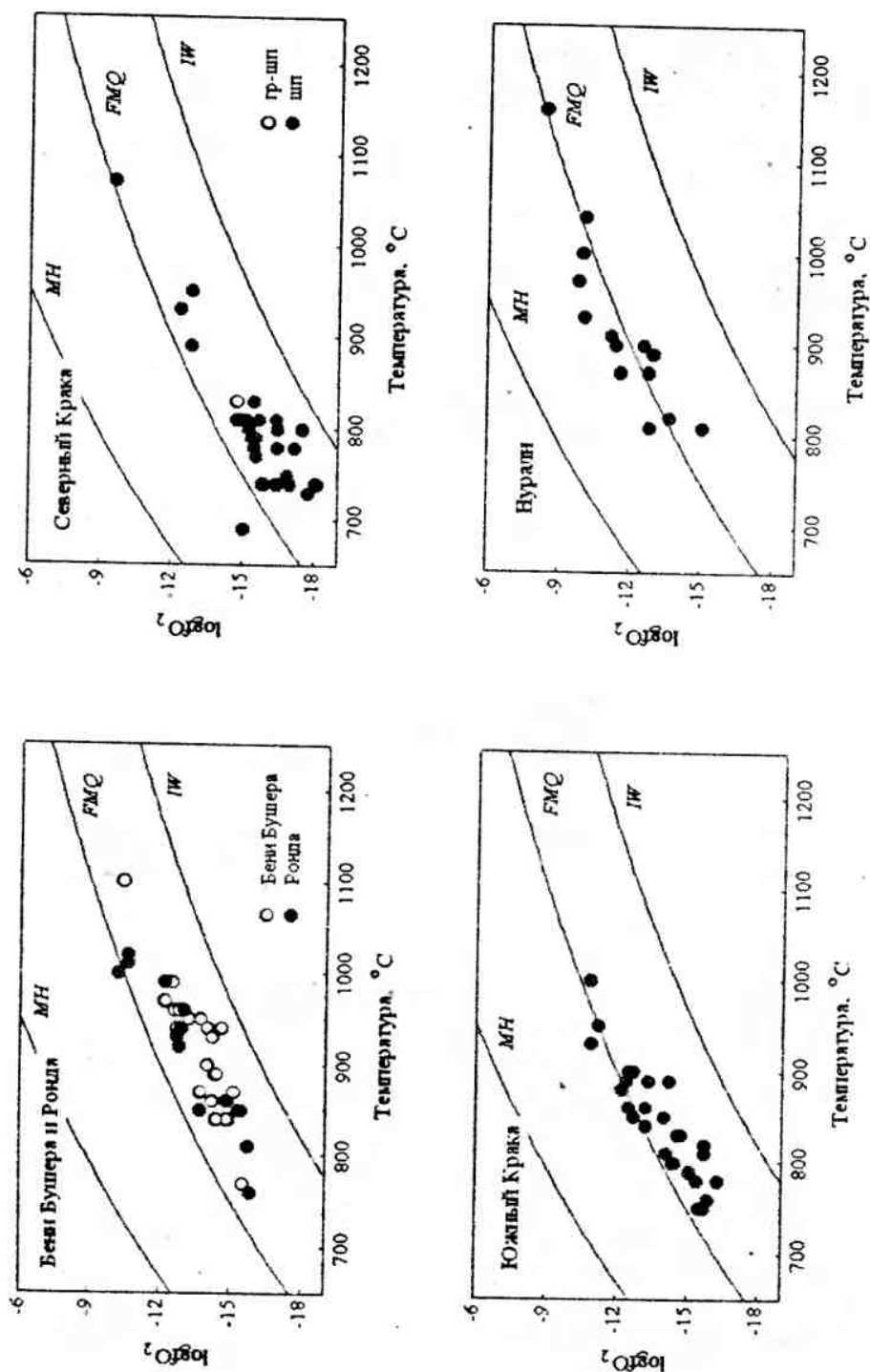


Рис. 1. Зависимость  $\log f_{O_2}$  - T для шпинелевых ультрамафитов Северного, Южного Крака и Уралей и подконтинентальных ультрамафитов массивов Бени Бушера и Ронда [28].

МН, FMQ, IW – магнетит-гематитовый, фаялит-магнетит-кварцевый и железо-вуститовый кислородные буферы соответственно; гр-шп – шпинелевый перцолит с алмандином

Средняя степень магматического деплетирования, состояние окисленности и отношение  $Al_2O_3:CaO$  в гарцбургит-лерцолитовых сериях Урала в сопоставлении с субконтинентальными и субокеаническими перидотитами

Массив	Средняя степень истощения, %	$\Delta \log fO_2$ (FMQ) (NW) $X \pm \sigma$ (n)	$Al_2O_3:CaO$ $X \pm \sigma$ (n)	Источник
Северный Крака	60	$-1,4 \pm 0,8$ (31)	$1,30 \pm 0,47$ (34)	-
Средний Крака	60	$-0,1 \pm 0,6$ (34)	$1,31 \pm 0,75$ (38)	-
Узянский Крака	80	$0 \pm 0,4$ (17)	$1,53 \pm 0,57$ (22)	-
Южный Крака	70	$-0,3 \pm 0,6$ (28)	$1,16 \pm 0,25$ (66)	-
Нурали	50	$+0,6 \pm 1,1$ (45)	$0,90 \pm 0,30$ (30)	-
Бени Бушера	-	$-1,7 \pm 0,7$ (22)	-	[28]
Ронда	30	$-0,9 \pm 0,8$ (13)	$1,15 \pm 0,08$ (20)	[21, 28]
Абиссальные перидотиты	70	$-0,6 \pm 0,7$ (31)	$1,89 \pm 0,57$	[9, 19]

Таблица 2

Химический состав зерен граната из шпинелевых ультрамафитов массивов Крака (по данным рентгеноспектрального микроанализа), мас. %

Компонент	7365-1	7365-2	7471	7503-1	7503-2	7512-1	7512-2
SiO <sub>2</sub>	36,87	36,67	37,51	37,71	37,45	37,71	38,02
TiO <sub>2</sub>	Не обн.	0,02	Не обн.	Не обн.	0,02	0,02	0,02
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20,42	21,16	21,10	21,16	20,36	21,15	20,83
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Не обн.	0,09	0,01	Не обн.	0,17	0,03	0,21
FeO <sub>сум</sub>	34,57	34,78	33,81	33,98	35,11	34,35	34,77
MnO	0,25	0,30	0,33	0,47	0,42	0,39	0,30
MgO	6,71	6,16	6,67	6,16	5,43	6,20	5,65
CaO	0,82	0,81	0,85	0,61	0,85	0,89	0,70
Сумма	99,64	99,98	100,29	100,08	99,81	100,72	100,51

Примечание. Обр. 7365 - гарцбургит Узянского Крака; обр. 7471-7512 - Северный Крака: 7471 и 7503 - шпинелевые лерцолиты, 7512 - гарцбургит. Зерна с индексом 2 содержат тонкие зерна хромшпинелида, с индексом 1 - однородны. Аналитик В.Г. Гмыра.

вой природе, по крайней мере, части лерцолитовых массивов.

**Тектоническая позиция ультрамафитов массивов Крака.** Наиболее чувствительный индикатор геодинамической обстановки становления ультрамафитов - их редокс-состояние [13, 27]. Сопоставление величин летучести кислорода гарцбургит-лерцолитовой серии в шпинелевых фациях массива Южный Крака с ультрамафитами Главного пояса, включая аналогичные серии Нуралинского массива, показало, что первые сохранили сублитосферное состояние окисленности, вторые - преобразованы в условиях формирования островной дуги; граница проходит по буферу FMQ [14]. Полученные в последнее время данные по другим массивам Крака (Северному, Среднему, Узянскому) подтвердили этот вывод (табл. 1, рис. 1). Обращают на себя внимание различия редокс-состояния между массивами и значительная дисперсия летучести кислорода в пределах массивов, в 2-3 раза превышающая погрешность измерений (0,4 ед.  $\log fO_2$ ). По нашему мнению, это свидетельствует о существовании крупномасштабных вариаций состояния окисленности в верхней мантии.

**Природа ультрамафитов массивов Крака.** Ранее было показано петрогенетическое значение кальций-алюминиевого отношения, обусловленное его постоянством ( $Al_2O_3:CaO = 1,21-1,25$ ) во всех классах хондритов независимо от соотношения силикатных и металлических фаз [17, 23]. В уральских альпинотипных ультрамафитах средняя величина этого отношения варьирует с 0,83 до 1,35 и может рассматриваться как количественный показатель дифференциации мантийного вещества.

На рис. 2 а, б в координатах CaO -  $Al_2O_3$  приведены составы гарцбургит-лерцолитовой серии массива Северный Крака в сопоставлении с ультрамафитами Нуралинского массива (Главный ультрамафитовый пояс Урала), а также, по литературным данным, - с классическими подконтиненталь-

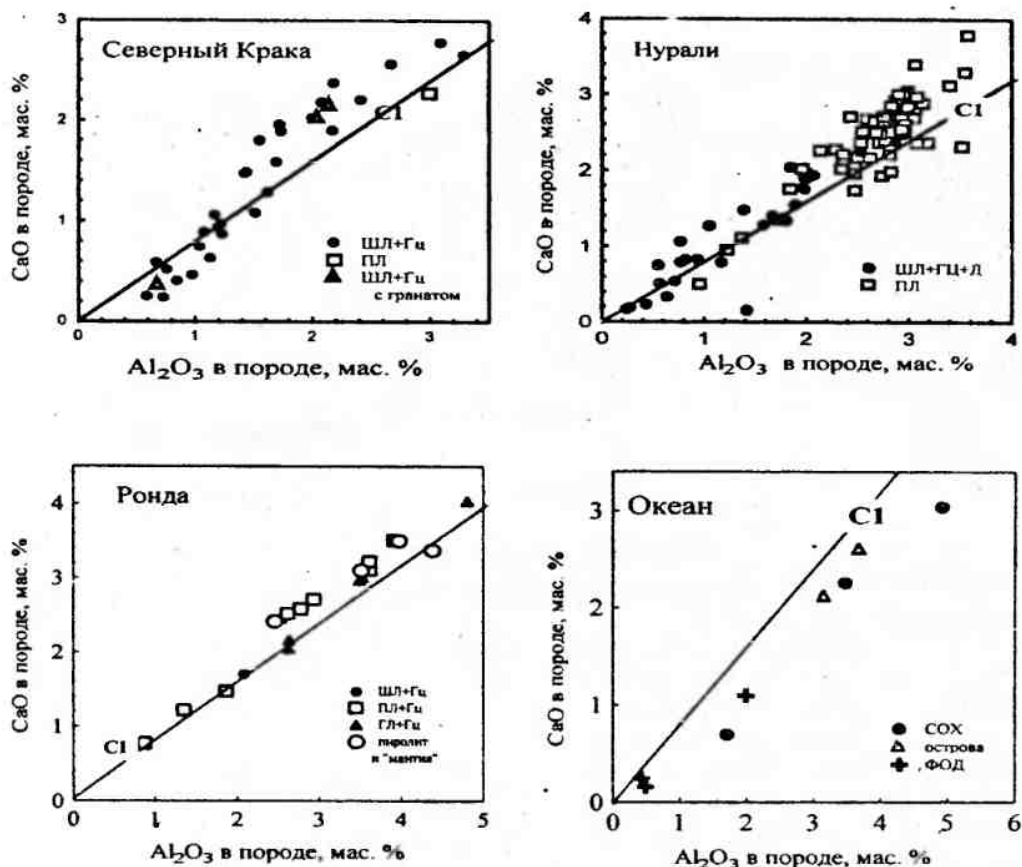


Рис. 2 а,б. Массовые доли глинозема и извести (в расчете на сухой остаток) в ультрамафитах гарцбургит-лерцолитовых серий массивов Северный Крак и Нурали (а) в сопоставлении с перидотитами массива Ронда [21] и дна океана [9] (б).

ШЛ, ПЛ, ГЛ – шпинелевые, плагиоклазовые и гранатовые фации ультрамафитов, соответственно; Гц – гарцбургиты; СОХ – срединно-океанические хребты; ФОД – фундамент островных дуг

ными перидотитами массива Ронда [21] и океаническими ультрамафитами различных геодинамических обстановок [9]. Из выборки Нуралинского массива исключены составы пород зон перехода шпинелевых ультрамафитов к плагиоклазовым, для которых установлено [15] нарушение в ходе декомпрессии  $Al:Ca$  отношения. Средняя величина этого отношения в гарцбургит-лерцолитовой серии массива Ронда, независимо от фации, а также в модельных составах пиролита верхней мантии практически равна хондритовой  $C1$  и резко отличается от отношения в абиссальных перидотитах (табл. 1). Уральские гарцбургит-лерцолитовые серии, при всех различиях геодинамических условий становления, практически идентичны субконтинентальным.

Субконтинентальная природа ультрамафитов массива Северный Крак находит подтверждение в их чрезвычайно восстановленном редокс-состоянии. По величине летучести кислорода они тождественны перидотитам массива Бени Бушера [28] – самым восстановленным из относящихся к субконтинентальной мантии ультрамафитам, включая ксенолиты шпинелевых лерцолитов в щелочных вулканитах (см. рис. 1, табл. 1). Такие же низкие значения  $fO_2$  обнаружены и в абиссальных перидотитах, однако они характерны для ультрамафитов горячих точек с высокой степенью магматического деплетирования [19]. В среднем, по данным [19],  $fO_2$  в удаленных от плюмов океанических ультрамафитах не опускается ниже  $-0,6$  ед.  $\log$  (см. табл. 1).

Значительные глубины формирования подконтинентальных ультрамафитов не исключают устойчивости парагенезиса оливина с гранатом пиропового состава [22]. В массиве Северный и Узянский Крак нами обнаружены мелкие (меньше  $0,1$  мм) зерна магнийсодержащего алмандина. По составу (табл. 2) он близок гранату из других уральских ультрамафитовых массивов Урала [7]. Часть зерен граната содержит сыпь сверхтонких включений хромшпинелида (продукты распада?); в этом случае массовая доля  $Cr_2O_3$  в гранатовой матрице превышает порог чувствительности микрозондового метода. Не исключено, что, алмандин может быть продуктом субсолидусной реакции

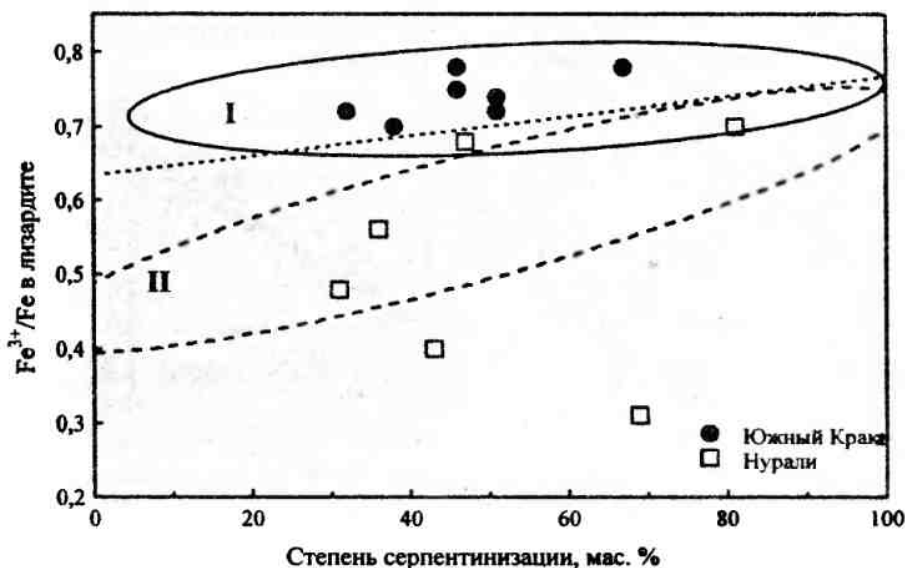
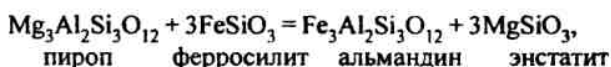


Рис. 3. Степень окисления железа в лизардите массивов Южный Крак и Нурали как функция степени ранней серпентинизации.

I, II – поля составов метеорных и океанических лизардитов соответственно [1]



фиксирующей охлаждение ультрамафитов до температур порядка 800°C при давлении 11-12 кб [18].

Подконтинентальная природа ультрамафитов массивов Крак подтверждается также составом серпентинизирующих растворов. Известно, что ранняя серпентинизация завершает окончание этапа выведения ультрамафитов в земную кору. Поэтому выяснение природы серпентинизирующих растворов имеет важное значение для определения тектонической позиции становления ультрамафитовых массивов. Существующие для этой цели методы основаны на изучении изотопии водорода, кислорода [26] и состава растворимых в воде реликтов серпентинизирующих растворов [16]. Однако экспериментально было установлено, что эти характеристики чувствительны к воздействию постсерпентиновых вод [3, 16] и их первичные значения сохраняются на глубинах не менее 1 км [4]. Результаты наших исследований показали, что кристаллохимия ионов железа и количество структурной воды в лизардите – главном продукте ранней серпентинизации – определяются, прежде всего, составом серпентинизирующих растворов и не подвержены влиянию постсерпентиновых вод [1, 2]. На рис. 3 приведены данные о степени окисления железа в лизардитах Южнокрайского и Нуралинского массивов относительно степени ранней серпентинизации. Эллипсами обозначены поля метеорных (I) и океанических (II) лизардитов [1]. Из рисунка следует, что если лизардиты Нуралинского массива образованы под действием океанических вод, то Южнокрайского – никогда в контакте с ними не были.

Таким образом, приведенные данные свидетельствуют о том, что гарцбургит-лерцолитовые серии массивов Крак – аналоги классических субконтинентальных перидотитов. Одно из немногих различий заключается в относительно пониженных субсолидных температурах их становления, обусловленных, по-видимому, меньшей скоростью выведения массивов Крак в континентальную кору.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, коды проекта 98-05-65000, 96-05-64532.

#### Список литературы

1. Вотяков С.Л., Чашухин И.С., Быков В.Н. и др. Кристаллохимия ионов железа в минералах ультрабазитов в связи с их серпентинизацией. Екатеринбург: УрО РАН, 1992. 64 с.
2. Вотяков С.Л., Чашухин И.С., Петрищева В.Г. О поведении воды в океанических и метеорных лизардитах // Ежегодник-1994 Ин-та геологии и геохимии УрО РАН. Екатеринбург, 1995. С. 114-117.
3. Гриненко В.А., Минеев С.Д., Девирц А.Л., Лагутина Е.П. Фракционирование изотопов водо-

рода в системе лизардит - вода при 100 °С и 1 атм. // *Геохимия*. 1987. № 4. С. 574-579.

4. *Девирц А.Л., Уханов А.В., Лагутина Е.П., Пустоветов А.А.* К вопросу об образовании хромитовых руд: первые определения  $\delta D$  в амфиболах, хлоритах и серпентине некоторых уральских месторождений // *Тр. XII Всесоюз. симп. по стабильным изотопам в геохимии*. М., 1989. С. 29-31.

5. *Иванов С.Н.* Офиолиты на сиалической коре // *Эволюция офиолитовых комплексов*. Свердловск, 1981. С. 72-78.

6. *Иванов С.Н., Русин А.И.* Континентальный рифтогенный метаморфизм // *Геотектоника*. 1997. N. 1. С. 6-19.

7. *Каминский Ф.В., Лаврова Л.Д., Шенелева К.А.* О гранатах в альпинотипных ультрабазитах Урала // *Докл. АН СССР*. 1978. Т 241, № 5. С. 1179-1181.

8. *Колман Р.Г.* Офиолиты. М.: Мир, 1979. 236 с.

9. *Лутц Б.Г.* Геохимия океанического и континентального магматизма. М.: Недра, 1980. 247 с.

10. *Пушкарев Е.В., Гуляева Т.Я.* Высокобарические гранатые гипербазиты Миндякского массива на Южном Урале // *Ежегодник-1994 Ин-та геологии и геохимии УрО РАН*. Екатеринбург, 1995. С.82-86.

11. *Савельева Г.Н.* Габбро-ультрамафитовые комплексы офиолитов Урала и их аналоги в современной океанической коре. М.: Наука, 1987. 246 с.

12. *Ферштатер Г.Б., Беа Ф.* Геохимическая типизация уральских офиолитов // *Геохимия*. 1996. № 3. С.195-218.

13. *Чащухин И.С., Вотяков С.Л., Уймин С.Г. и др.* ЯГР-спектроскопия хромшпинелидов и проблемы оксистермометрии хромитонесущих ультрамафитов Урала. Екатеринбург; Ин-т геологии и геохимии УрО РАН, 1996. 136 с.

14. *Чащухин И.С., Уймин С.Г.* О редокс-условиях становления ультрамафитов складчатых областей (на примере Урала) // *Ежегодник-96 Ин-та геологии и геохимии УрО РАН*. Екатеринбург, 1997. С. 86-89.

15. *Чащухин И.С., Штейнберг Д.С.* Сопоставление химического состава лерцолитов массива Нурали (Южный Урал) в шпинелевой и плагиоклазовых фациях // *Ежегодник-1988 Ин-та геологии и геохимии УрО АН СССР*. Екатеринбург, 1988. С. 43-47.

16. *Штейнберг Д.С., Чащухин И.С., Ковальчук А.И.* Океанические воды – агент серпентинизации ультрамафитов континентов // *Докл. АН СССР*. 1991. Т 320, № 3. С. 713-715.

17. *Штейнберг Д.С., Чащухин И.С., Уймин С.Г.* Кальций-алюминиевое отношение в альпинотипных ультрамафитах как индикатор степени унаследованности состава хондритов // *Петрология гипербазитов и базитов*. Тр. Ин-та геологии и геофизики СО АН СССР. Вып. 758. Новосибирск, 1990. С. 41-52.

18. *Aranovich L.Y., Berman R.G.* A new garnet-orthopyroxene thermometer based on reversed  $Al_2O_3$  solubility in  $FeO-Al_2O_3-SiO_2$  orthopyroxene // *American Mineralogist*. 1997. V. 82. P. 345-353.

19. *Bryndzia L.B., Wood B.* Oxygen thermobarometry of abyssal spinel peridotites: the redox state and C-O-H volatile composition of the earths suboceanic upper mantle // *American J. Sci.* 1990. V. 290, № 10. P. 1093-1116.

20. *Fershtater G.B., Montero P., Borodina N.S. et al.* Uralian magmatism: an overview // *Tectonophysics*. 1997. V. 276. P.87-102.

21. *Frey F.A., Suen C.j., Stockman H.W.* The Ronfa high temperature peridotite: geochemistry and petrogenesis // *Geochim. et Cosmochim. Acta*. 1985. V. 49, № 11. P. 2469-2491.

22. *Obata M.* The Ronda peridotite: garnet-, spinel-, and plagioclase-lherzolite facies and the P-T trajectories of a high-temperature mantle intrusion // *J. Petrology*. 1980. V. 21, № 3. P. 533-572.

23. *Palme H., Nickel K.G.* Ca:Al ratio and composition of the Earth, upper mantle // *Geochim. et Cosmochim. Acta*. 1985. V. 49, № 10. P. 2123-2132.

24. *Savelieva G.N., Sharaskin A. Ya., Saveliev A.A. et al.* Ophiolites of the southern Uralides adjacent to the East European continental margin // *Tectonophysics*. 1997. V. 276. P. 117-137.

25. *Savelieva G.N., Spadea P., Sharaskin A. Ya et al.* Ophiolites of the junction zone between Uralides and East European continental margin // *European workshop «Uralides and Variscides»*. Granada, 1996.

26. *Wenner D.B., Taylor H.P.* Oxygen and hydrogen isotope studies of the serpentinization of ultramafic rocks in oceanic environments and continental ophiolite complexes // *American J. Sci.* 1973. V. 273, № 3. P. 207-239.

27. *Wood B., Bryndzia L., Johnson K.* Mantle oxidation state and its relationship to tectonic environment and fluid speciation // *Science*. 1990. V. 248, № 4953. P. 1277-1291.

28. *Woodland A., Kornprobst J., Wood B.* Oxygen thermobarometry of orogenic lherzolite massifs // *J. Petrology*. 1992. V. 33, p. 1. P. 203-230.