

**МАНТИЙНЫЕ КСЕНОЛИТЫ  
МЕЗО-КАЙНОЗОЙСКИХ  
ВУЛКАНИЧЕСКИХ ТРУБОК ХАКАСИИ**

**MANTLE XENOLITHS  
FROM MESO-CENOZOIC  
VOLCANIC PIPES OF KHAKASIA**

**НОВОСИБИРСК 1988**



С о с т а в и т е л и

Н.В.Соболев, В.В.Кепелинскас, Ю.И.Овчинников,  
Н.П.Похиленко

ACADEMY OF SCIENCES OF THE USSR  
SIBERIAN BRANCH  
Institute of Geology and Geophysics

MANTLE XENOLITHS FROM MEZO-CENOZOIC  
VOLCANIC PIPES OF KHAKASIA

Field Trip  
Guide

International Symposium "Composition and Processes  
in the Deep-Seated Zones  
of Continental Lithosphere"

May 23-28, 1988

Novosibirsk 1988

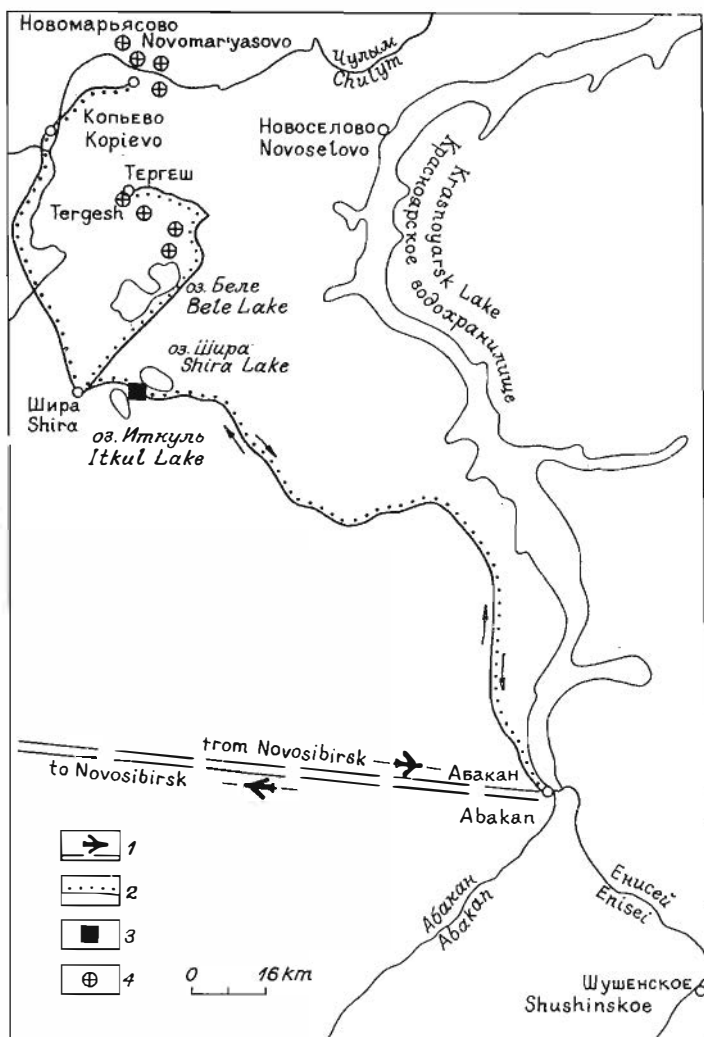
АКАДЕМИЯ НАУК СССР  
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ  
Институт геологии и геофизики

МАГИЙНЫЕ КСЕНОЛИТЫ  
МЕЗО-КАЙНОЗОЙСКИХ ВУЛКАНИЧЕСКИХ  
ТРУБОК ХАКАСИИ

Путеводитель экскурсии Международного симпозиума  
"Состав и процессы глубинных зон  
континентальной литосферы"

23-28 мая 1988 г., Новосибирск

Новосибирск 1988



Schematic Map of the Field Trips of International Symposium "Composition and Processes in the Deep-Seated Zones of the Continental Lithosphere" (May 23-28, 1988)

1. Arrival and Departure, Flight: Novosibirsk-Abakan.
2. Transportation by buses to reach the field-trip location.
3. Camping and lodging.
4. Field-trip location

## INTRODUCTION

Both the Mesozoic and Cenozoic alkaline-basalt volcanic activity are very common phenomena for Central Asiatic fold zone including some of the southern areas of the Soviet Union, such as Khakassian District, where one can find numerous volcanic pipes containing abundant deep-seated inclusions. The latter are associated with the stage of recent tectonic-magmatic activity in the region under discussion, that was most intense within the whole Cenozoic time, though the initial signs of this activity manifested themselves at the Late Mesozoic time. The major tectonic processes responsible for the volcanic activity here were riftogenetic ones of the continental lithosphere. It has resulted in formation of the Lake Baikal Rift System as well as related rift structures in Mongolia, Tuva and Khakassia. Intercontinental riftogenesis was accompanied by the alkaline-basalt volcanism whose initiation was fixed in the area of our field trip organized within the framework of International Symposium.

The volcanic pipes are concentrated in a local area confined to the conjunction zone of the northernmost cover-fold structure zone of Caledonian time within the Central Asiatic fold belt area and Mesozoic West Siberian Platform. One can separate here the Minusa intermontane depression of Devonian-Carboniferous age; a peculiar ring of alkaline-basalt volcanism has been found to occur over the northern margin of Chui-Yenisei Depression. It includes a root system of volcanic eruptions in the form of volcanic pipes of complex structure, the lava necks and numerous dykes. No cover facies have been fixed. The volcanic rocks intrude the youngermost Devonian-Carboniferous terrigene deposits. Based on the data obtained by these authors is the age of these rocks fixed as the Upper Permian-Triassic (Luchitsky, 1960; Kryukov, 1969, 1964, 1968). The absolute isotopic datings performed for zircons from the concentrate of the Bele Pipe by the staff from Carnegie Institute, Geophysical Lab., U.S.A. has yielded  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  age of basaltoids as being 77.9 m.y. (G. Davis, (personal communication).

The data obtained by I.V.Luchitsky and A.V.Kryukov have proved that the volcanic pipes and dykes are grouped over the margins of Kopievo dome-shaped uplift (Fig. 1) confined to the flexures of N-W strike, lain over the deep-seated faults. Three small areas can be separated here incorporating over 20 intrusive bodies. These are the northern Chulym River Basin, one near Kongarovo village and western one near Uchum Lake and Kopievo railway station, the southern one between the Bele lake and Kogunokskaya and Tergeshskaya villages (see the Guide Map).

#### GENERAL INFORMATION

Volcanic pipes constitute the cone-shaped hills that can be easily fixed in the relief elevated over 30-60 m above the local level. They are of rounded shape, 80-540 m in diameter, of complex inner structure. The lava necks are usually of smaller size and varying morphology, the dykes being 10-15 m thick extending to several hundreds meters. These mostly are the multiphase structures composed of eruptive breccias with altered cement bearing the indications of the relict structural-mineralogic signs to be the volcanic rocks and basaltoids typical of the alkaline-basaltoid magmatic rocks.

The basalts and eruptive breccia, in particular, are filled with the fragments of various type rocks and monomineral inclusions that were studied by many geologists (Kryukov, 1962, 1968; Kutolin, 1972; Vladimirov et al., 1976; Kostyuk et al., 1977; and oth.), including the authors of this Guide. By summing up the results of this study we have succeeded in separating three large groups of inclusions: crustal xenoliths, mantle xenoliths and monomineral inclusions known as megacrysts of various origin and composition.

Crustal xenoliths are represented by a heterogeneous group of sedimentary, magmatic and metamorphic rocks. Of these the most interesting ones are granulite facies xenoliths and eclogite-like rocks poorly studied earlier as containing information on the composition and structure of the deep-seated



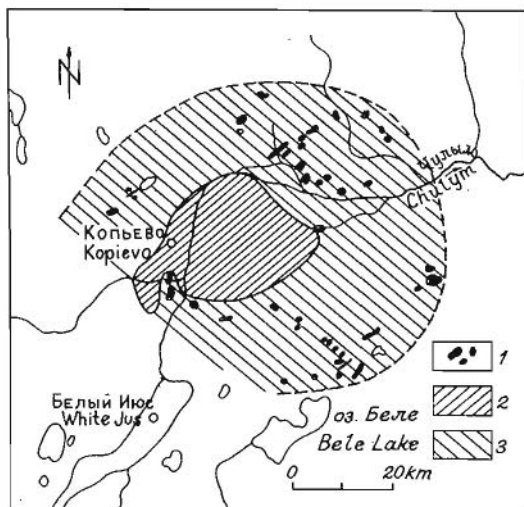


Fig. 1. Schematic map of the occurrence of volcanic pipes and basalt dykes in Chulim-Yenisei depression, Khakasia [Luchitsky, 1960].

1 - dykes and necks of young basalts; 2 - Копьево uplift; 3 - area of young basalt occurrence.

Рис. 1. Схема распространения вулканических трубок и базальтовых даек в Чулым-Енисейской впадине, Хакасии [Лучицкий, 1960].

1 - дайки и нежки молодых базальтов, 2 - Копьевское поднятие, 3 - площадь распространения молодых базальтов.

zones of Continental Crust.

The ultramafic and mafic mantle xenoliths were studied fairly well, so it was possible to separate 2 types of them: magnesian (Mg) and ferro-magnesian (Fe-Mg) belonging to a "green" series as based on various classifications: it contains type 1 chrome diopside; and a "black" series containing type II augite (Whilshire, Shervais, 1975; Frey, Prinz, 1978 et al.). Magnesian xenoliths from the described region are represented mainly by garnet and spinel lherzolites or sometimes wehrlites, diopsidites and eclogites. Petrology of Mg-type xenoliths proves in favour of the mantle origin of these rocks. The Fe-Mg type is inhomogeneous with respect to the origin of the incorporated rocks. It includes clinopyroxenites, websterites, on one hand, and more uncommon spinel lherzolites, on the other, which are believed to be the fragments of the Upper Mantle substance. Still, there are also present pyroxenites, whose mineral-geochemical indications permit one to conclude that they are the ultramafic cumulates of the alkaline-basaltoidal magma.

The third group of monomineral inclusions incorporates the large size and desintegrated single pyrope crystals, high-aluminous augite and sanidine. They have the mineral-petrologic indications of the high-pressure minerals being though of ambiguous origin. They are usually regarded as the deep-seated near-liquidus phases of mantle crystallization of alkaline basalts or are treated as xenocrystals, which is most uncommon.

As for xenoliths and the host rocks, Khakassian volcanic pipes were studied in various degree, so their characteristics are cited below with varying degree of detalization. The most interesting are Tergeshskaya and Bele pipes as providing abundant information on the Upper Mantle structure and composition: these contain pyrope peridotites and eclogites.

#### Abbreviations

gar - garnet  
cpx - clinopyroxene  
ol - olivine

opx - orthopyroxene  
spn - spinel  
f - Fe/(Fe+Mg) %  
n - totals for analyses

### Tergeshskaya Pipe

This is one of the most carefully studied pipes located in the area of Devonian terrigenous deposits containing red sandstones, siltstones, marls and gravelites of subordinate importance (Kryukov, 1963, 1964, 1968; Kutolin, Frolova, 1972; Kostyuk et al., 1977; Sobolev, 1975 and oth.). The exocontact influence of the intruded magmatic rocks is here very insignificant represented mainly by the strain effects (banding and ascent of layers, flexure-forming processes, fracture tectonics). Morphologically, the pipe is not practically well outlined on the surface; only part of it is composed of basalts that make up a cone-shaped 40 m high hill elevating over the surrounding plains. As based on magnetic surveys and excavations of the ground, configuration of the two near-lying pipe-shaped bodies was found to be complex (Fig. 2) having the dimensions 540 x 120 m and 180 x 100 m. They slightly extend in the N-W direction parallel to Dzhirimskaya flexure as a result of tectonic activity of the large-scale fault. The funnel-like shape of the bodies has been fixed, the contacts steeply dipping (40-60°) inside the pipe.

Tergeshskaya pipe is composed of eruptive breccias forming small later intrusions of small-scale volumes of basalts forming small stocks (up to 10 m in diameter) with apophyses and dykes.

The eruptive breccias are highly volcanic-fragmentary rocks filled in with xenoliths of the host Devonian or more ancient crustal rocks, containing deep-seated inclusions though not so abundant. They can be distinguished mainly by the relation between the crustal and mantle xenoliths and also by their location within the pipe (Fig. 2). The II-phase breccias are most abundant: they make up the major part of Tergeshskaya pipe. The I-st phase breccias were conserved

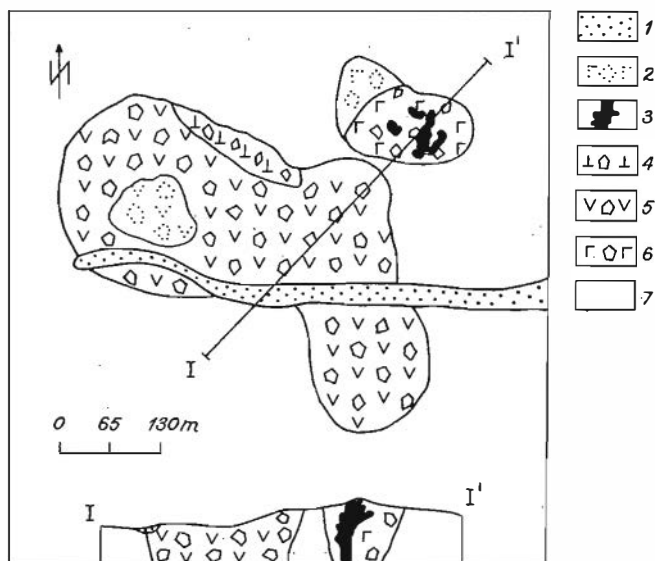


Fig. 2. Schematic map of geologic structure of Tergeshskaya pipe [Kryukov, 1964].

1 - alluvium; 2 - structural alluvium in breccia; 3 - basalts; 4-6 - eruptive breccias; 4 - 1st phase; 5 - 2nd phase; 6 - 3rd phase; 7 - Devonian terrigenous host rocks.

Рис. 2. Схема геологического строения трубки Тергешская [Крыков, 1964].

I - аллювий; 2 - структурный аллювий брекчи; 3 - базальты; 4-6 - эруптивные брекчи: 4 - I-й фазы, 5 - 2-й фазы, 6 - 3-й фазы; 7 - вмещающие терригенные отложения девона.

only as some small fragments 18-25 m thick over the northern margin of the pipe, while similar III-phase rocks all make up small isolated body being rather branch or apophysis of the principal pipe channel.

Thus the pipe under discussion was formed during several activity stages of Tergeshsky eruptive center, in the process of which not only the eruption types were changed (pyroclastic explosions, lava eruptions) but also composition of volcanic products, as it may be seen from Table 1. Analysis of the samples of eruptive low weathered breccias containing minimum foreign inclusions has shown that the magmatic products of initial stages of pipe formation were not of the same composition as the final stage basanites (Fig. 3). They were saturated in silica, iron but judging by rather low concentrations of  $TiO_2$  and  $P_2O_5$ , they were less alkaline approaching to basaltoids of tholeiitic petrochemical type; later basaltoid inclusions are identified as typical representatives of alkaline-basaltoid series belonging to the most mafic varieties of this family of basalts highly under-saturated in  $SiO_2$  with specific paragenesis of the phenocrysts: olivine + clinopyroxene + labrador.

The alkaline basaltoids of Tergeshskaya pipe by their rare-earth elements (REE) characteristics are compared with the Cenozoic alkaline basalts of the Lake Baikal Rift System being quite different than kimberlites from the Siberian Platform (Fig.4). In spite of the fact that kimberlites and alkaline basalts have overlapping ranges of their variations in the contents of the light REE with concentrations of the heavy REE varying which is responsible for the rare-earth distribution having the values  $(La/Yb)_N = 98-160$  and  $9-25$ . Tergeshskaya pipe basanites are similar to the less rich ones  $(La/Yb)_N = 9$  with alkaline basalts of Dzhidinsky and Vitimsky aureoles, also Dariganga basalt plateau in Mongolia.

All the rocks composing Tergeshskaya Pipe contain xenoliths both of crustal and mantle origin, as well as large (up to several cm) monomineralic nodules. The quantitative proportions between these three groups of inclusions, size of the latter and the whole bulk of xenogene matter highly

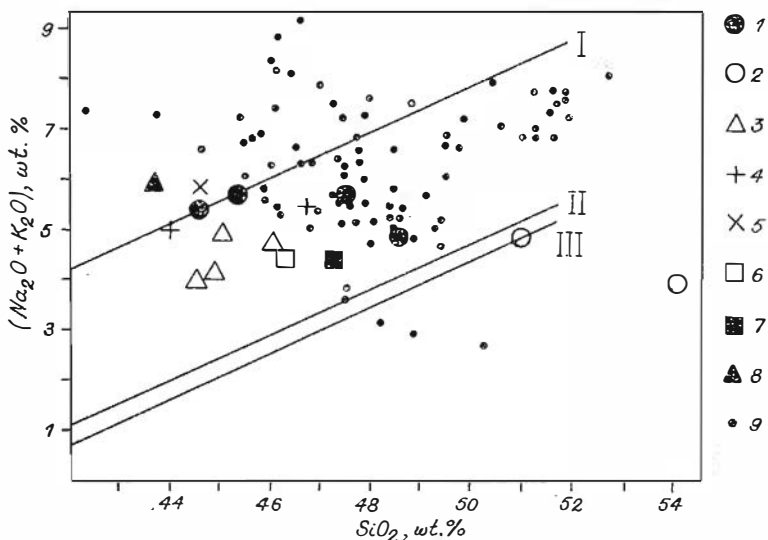


Fig. 3. Arrangement diagram for the subdivision of alkaline and subalkaline basalts (tholeiites, calc-alkaline). Lines I-III stand for: 1 - fields of high- and moderate-alkaline basaltoids [Saggerson, Williams, 1964]; II-III - moderate-alkaline and subalkaline basalts [Macdonald, Katsura, 1964; Irving, Baragar, 1971].

1-2 - Tergeshskaya pipe rocks: 1 - basalts; 2 - eruptive breccias; 3-8 - pipe basaltoids: 3 - Bele pipe; 4 - Kongarovskaya pipe; 5 - Baradzhulskaya pipe; 6 - one near Tergeshskaya pipe; 7 - Tri Brata pipe; 8 - Krasnoozyorskaya pipe; 9 - Cenozoic rift series of alkaline basalts, Tuva [Kepezhinskas et al., 1987].

Рис. 3. Классификационная диаграмма для разделения щелочных и субщелочных (толеитовых, известково-щелочных) базальтов. Линии I-III - разделяют: I - поля высоко- и умереннощелочных базальтоидов [Saggerson, Williams, 1964]; II-III - умереннощелочных и субщелочных базальтов [Macdonald, Katsura, 1964; Irving, Baragar, 1971].

I-2 - породы трубки Тергешская: I - базальты, 2 - эруптивные брекчи; 3-8 - базальтоиды трубок: 3 - Беле, 4 - Конгаровская, 5 - Бараджульская, 6 - вблизи трубки Тергешская, 7 - Три брата, 8 - Красноозерская, 9 - кайнозойские рифтовые серии щелочных базальтов Тувы [Кежежинскас и др., 1987].

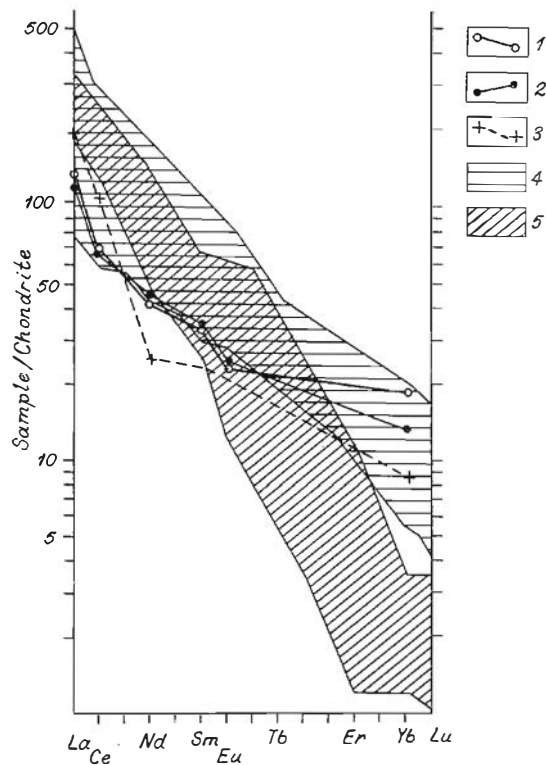


Fig. 4. Distribution of the rare-earth elements vs ordinary chondrite /Nakamura, 1974/ in kimberlites and alkaline basaltoids containing mantle xenoliths of host-rock origin.

1 - Tergeshskaya pipe basalts; 2 - Kongarovskaya pipe basanites; 3 - Obnazhennaya pipe kimberlites Yakuria; 4 - alkaline basaltoids of the Lake Baikal rift system (Dzhidin and Vitim aureols, Tokinsky Stanovik: n=7) and Mongolia (n=19) /Saltikovskiy, Genshaft, 1984; Kononova et al., 1987; Kogarko et al., 1987/; 5 - kimberlites from the Siberian Province (Malo-Botuobinsk, Alakitsk and Daldinsk regions, n=22) /Ilupin et al., 1978/.

Рис. 4. Распределение РЗЭ, нормированных к ordinary хондриту /Nakamura, 1974/, в кимберлитах и щелочных базальтоидах, вмещающих мантийные ксенолиты.

1 - базальты трубки Тергешская; 2 - базаниты трубки Конгаровская; 3 - кимберлиты трубки Обнаженная, Якутия; 4 - щелочные базальтоиды Байкальской рифтовой системы (Джидинский ареал, Витимский ареал, Токинский Становик: n=7) и Монголии (n=19) /Салтыковский, Геншафт, 1984; Кононова и др., 1987; Когарко и др., 1987/; 5 - кимберлиты Сибирской провинции (Мало-Ботуобинский, Алакитский и Далдынский районы, n=22) /Илупин и др., 1978/.

vary from various pipe sections as well as from various host rock types.

Crustal xenoliths dominate, in general, over the mantle ones. Some of xenoliths contain eruptive breccias of the II-phase (up to 60%) or III phase breccias. The largest size of foreign fragments was also discovered from the varieties reaching 1 m of the crustal matter. The fragments contained in eruptive 1-st phase breccias and basalts are usually not larger than 5 cm.

Crustal xenoliths contain mostly various terrigene carbonate rocks of Devonian rock series or more ancient ones (Cambrian?), the Middle Paleozoic effusives from basic-to-acid ones, also granitoids. But the most interesting ones are the solitary fragments, perhaps, lower crustal metamorphic rocks, such as crystalline schists, gneisses, granite gneisses and hypersthene gneisses providing information on the composition and structure of the lower crustal horizons, which are not represented up the surface in this region.

#### Mantle Xenoliths

Mantle xenoliths constitute a wide range of ultramafic rocks whose varying number was fixed in all the basanite varieties of the host rock origin in Tergeshskaya pipe. The III-phase eruptive breccias and partly basaltoids are especially rich in these varieties. Apart from the dominating ultramafic xenoliths there also are found the solitary fragments of eclogite rocks being of the same importance for petrologic study of the deep-seated zones of the Earth's Crust and Mantle.

Xenoliths of the ultramafic rocks belong to 2 principal types: magnesian or "green" xenolith series, in which clinopyroxene is usually represented by Cr-diopside, also by ferro-magnesian or "black" xenolith series, containing clinopyroxenes of augite series. The Magnesian series is more varying incorporating the dominating Sp-lherzolites; Sp-websterites and sometimes Gr-lherzolites and Gr-websterites. The Mg-Fe series is mainly pyroxenitic containing Sp-websterites, Sp-clinopyroxenites and Sp-orthopyroxenites.



The contents of the major elements in the principal xenolith types: lherzolites of Mg-series and pyroxenites of Fe-Mg series are listed in Table 2. In spite of the fact that we are dealing here with different petrographic varieties, which makes the correct petrochemical correlation more complicated, the general trends in their difference are quite clear and can be supported by their correlation with xenoliths of the two above listed types from basaltoids of Mongolia (Fig. 5).

The bulk chemical composition of lherzolites from Tergeshskaya pipe is similar with that of primitive nodules of basaltoids from Tokinsky Stanovik or some different regions including oceanic islands. The sampled geochemical characteristics such as the rare element distribution in Sp-lherzolites have supported the similarity with that of ultrabasic nodules of Tokinsky Stanovik and Mongolia (Fig. 6). In the diagram two types of xenolith distribution are shown from Tokinsky Stanovik (Kogarko et al., 1987). The 1-st type approaching chondrite with low or roughly the same level of concentrations  $(La/Yb)_N = 0.3 - 1.4$  for the light and heavy REE has been fixed in Sp-lherzolites of Mg-type (green series with Cr-diopside) that are considered to be the fragments of primitive Mantle. The 2-nd type extremely rich in the light REE is typical of the green series xenoliths rich in pyroxene component being the fragments of metasomatically altered mantle with higher  $(La/Yb)_N = 7-32$ . The distribution of the REE in Sp-lherzolites of Tergeshskaya pipe  $(Ce/Yb)_N \sim 3$  is very similar with the enriched metasomatically altered mantle type though having higher Yb, which is typical of the depleted mantle when this element accumulates in the partial melting products.

The mineral composition of Gr and Sp parageneses of both the ultramafic and mafic xenoliths is given in Tables 3,4,5.

Garnets of lherzolite paragenesis irrespective of Sp presence belong to a low chromous variety ( $Cr_2O_3 \sim 1\%$ ) with constant  $f = 17\%$ . They are more magnesian compared with the garnets of lherzolite xenoliths of Mongolia but are similar by Ca-Fe-Mg components with Mg-garnets from diamonds (Fig.7).

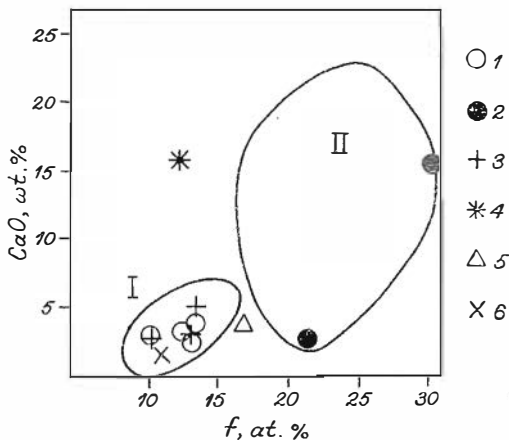


Fig. 5. Relation between CaO and FeO for ultramafic xenoliths of the Mg and Fe-Mg-types from the Khakasian basalt pipes. 1,2 - Tergeshskaya pipe: 1 - Mg lherzolites, 2 - Fe-Mg pyroxenites; 3,4 - Bele pipe: 3 - Mg lherzolites, 4 - ultramafic cumulates of alkaline basalt magma; 5 - pipe near the Tergeshskaya one, lherzolite; 6 - Kongarovskaya pipe, the Mg-type lherzolite. Contours stand for the fields of parameter variations for the deep-seated xenoliths from Mongolia for the Mg(I) and Fe-Mg (II) types [Кеpezhinskas, 1979].

Рис. 5. Соотношение содержания СаО и железистости в ультрамафитовых ксенолитах магнезиального и железисто-магнезиального типов из базальтовых трубок Хакасии.

1,2 - трубка Тергешская: 1 - лерзолиты Mg типа, 2 - широксениты Fe-Mg типа; 3,4 - трубка Беле: 3 - лерзолит Mg типа, 4 - ультраосновной кумулат щелочно-базальтоидной магмы; 5 - трубка вблизи Тергешской, лерзолит; 6 - трубка Конгаровская, лерзолит Mg типа. Контур - области вариаций соответствующих параметров в глубинных ксенолитах Монголии для Mg (I) и Fe-Mg (II) типов [Кеpezhнскas, 1979].

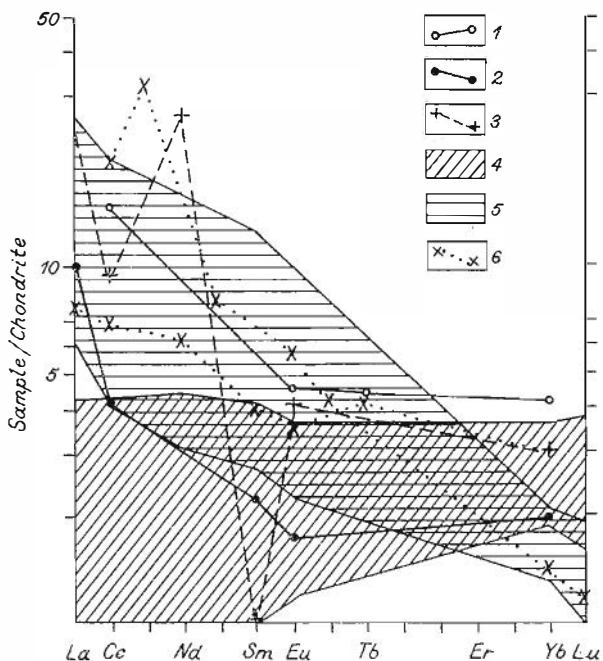


Fig 6. Rare-earth elements, their distribution vs ordinary chondrite [Nakamura, 1974.] in xenoliths of spinel lherzolites from alkaline basaltoids (1,2,4-6) and kimberlites (3).

1 - Tergeshskaya pipe; 2 - Kongarovskaya pipe; 3 - Obnazhennaya pipe, Yakutia; Tokinsky Stanovik [Kogarko et al., 1987];  
 4 - fragments of primitive mantle origin, n=6; 5 - fragments of metasomatically altered mantle, n=5; 6 - Mongolia [Saltikovskiy, Genshaft, 1984; Kononova et al., 1987].

Рис. 6. Распределение РЗЭ, нормированных к ordinary хондриту [Nakamura, 1974], в ксенолитах шпинелевых лерцолитов из щелочных базальтоидов (1,2,4-6) и кимберлитов (3).

1 - трубка Тергешская; 2 - трубка Конгаровская; 3 - трубка Обнаженная, Якутия; 4,5 - Токинский Становик [Когарко и др., 1987]:  
 4 - фрагменты примитивной мантии, n= 6 ; 5 - фрагменты метасоматически измененной мантии, n= 5 ; 6 - Монголия [Салтыковский, Геншафт, 1984; Кононова и др., 1987].

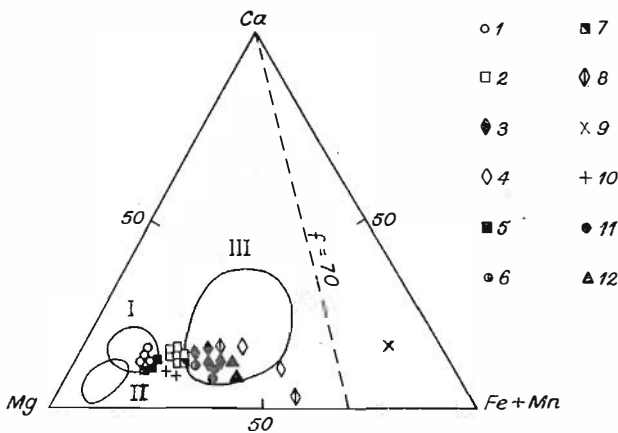


Fig. 7. Composition of Ca-Mg-Fe garnet from the deep-seated xenoliths of khakassian pipes and basaltoids of eruptive Shavarin-Tsaram Center (Mongolian People's Republic).

1-4 - Tergeshskaya pipe garnets: 1 - of lherzolite paragenesis, 2 - of eclogite paragenesis, 3 - megacrystals, 4 - megacrystals from concentrate; 5,6 - Bele pipe garnets: 5 - of lherzolite paragenesis, 6 - of websterite paragenesis; 7-9 - garnets from the concentrate of Bardzhulskaya and Kongarovskaya pipes of assumed parageneses, 8 - megacrystalline paragenesis, 9 - metamorphic crustal rocks; 10-12 - Shavarin-Tsaram garnets [Кеpezинскas, 1979], 10 - from lherzolites, 11 - Fe-Mg eclogites, 12 - eclogite-like rocks.

I-III - fields of the following composition /Deep-seated xenoliths, 1975/: I - majority of the garnets from lherzolite xenoliths, II - Mg-garnets of diamonds, III - garnets of eclogites, diamondiferous eclogites as inclusions in diamonds from kimberlite pipes.

Рис. 7. Состав Ca-Mg-Fe гранатов из глубинных ксенолитов хакасских трубок и базальтоидов эруптивного центра Шаварин-Царам (МНР).

1-4 - гранаты трубки Тергешская: I - из лерцолитового парагенезиса, 2 - эклогитового парагенезиса, 3 - мегакристаллы, 4 - мегакристаллы из концентрата; 5,6 - гранаты трубки Беле: 5 - из лерцолитового парагенезиса, 6 - вебстеритового парагенезиса; 7-9 - гранаты из концентрата трубок Барджульская и Конгаровская предполагаемых парагенезисов: 7 - эклогитового, 8 - мегакристового, 9 - метаморфических коровых пород; 10-12 - гранаты Шаварин-Царам [Кеpezинскas, 1979], 10 - из лерцолитов, 11 - Fe-Mg эклогитов, 12 - эклогитоподобных пород.

I-III - поля составов /Глубинные ксенолиты, 1975/: I - большинство гранатов из лерцолитовых ксенолитов, II - магниальных гранатов из алмазов, III - гранатов из эклогитов, алмазоносных эклогитов, включений в алмазах в кимберлитовых трубках.

In eclogite paragenesis Gr is more ferruginous (  $f = 22-27\%$  ) practically containing no Gr of similar composition with the same minerals of eclogite parageneses in kimberlites. The peculiarity of pyrope of the same nature in the above parageneses is constant low CaO contents. By CaO concentration they may be compared largely with xenoliths of the mafic and ultramafic rocks from alkaline basaltoids. The study of variations in the garnet composition from a lot of concentrate samples from Tergeshskaya pipe reveals a clear positive correlation between CaO and  $Cr_2O_3$  contents that remains for these oxides in the pyrope of the above paragenesis ( Fig.8). It is to be stressed that there are pyropes in the concentrate with  $f = 17\%$ , similar in composition to Gr of lherzolite paragenesis but differ from it by twice as great  $Cr_2O_3 = 2.54$  wt %.

The composition of all other coexisting minerals of Gr-Sp parageneses, as it may be seen from Tables 3-5 is practically the same.

Olivines are represented by forsterite with low variations in FeO contents (  $f = 9.5 - 11.5\%$  ). The CaO admixture in them does not exceed 0.1% being independent of fayalite contents (Fig. 9). The CaO concentrations may, in general, be correlated with those in Ol from the ultramafic Mg-type xenoliths from different regions but as it may be seen from Fig. 9 they differ significantly from Ol in similar xenoliths from kimberlites. The same holds true of  $Cr_2O_3$  (similarity with basaltoid xenoliths and difference from xenoliths of kimberlites), though the contents of this oxide is close to 0.01 wt %.

Orthopyroxenes belong to enstatites of constant FeO contents (  $f = 9-11\%$  ). Opx of the Gr-bearing parageneses is somewhat more aluminous (  $5-6\% Al_2O_3$  ) than in Sp-associations (  $3.5 - 5 Al_2O_3$  with a trend to higher CaO contents (Table 3; Fig. 10). Still they are very similar with orthopyroxenes from Gr and Sp lherzolites in xenoliths of alkaline basaltoids from different provinces of the World, Mongolia, in particular.

Clinopyroxenes of lherzolite paragenesis of Tergeshskaya pipe belong to low chrome (  $0.5 - 0.8\% Cr_2O_3$  ) subcalcic

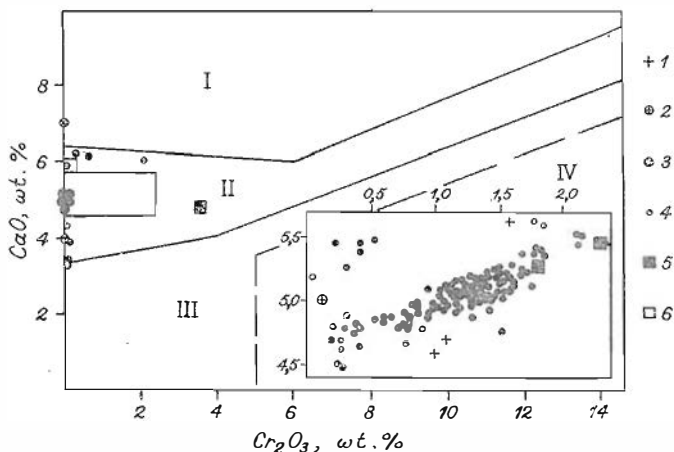


Fig. 8. Relation between CaO and  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  in the garnets from Tergeshskaya and Bele pipes.

1-4 - Tergeshskaya pipe (n=163); 1,2 - garnets from parageneses: 1 - lherzolite, 2 - eclogite; 3 - gar-megacrystals, 4 - gar from concentrate; 5,6 - Bele pipe, gar from parageneses: 5 - lherzolite, 6 - websterite.

I-IV - fields of garnet composition from: I - wehrlite paragenesis, II - lherzolite paragenesis, III - harzburgite-dunite paragenesis, IV - diamondiferous assemblages [Sobolev, 1975].

Рис. 8. Соотношение содержаний CaO и  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  в гранатах трубок Тергешская и Беле.

I-4 - трубка Тергешская (n = 163). I-2 - гранаты из парагенезисов: I - лерцолитового, 2 - эклогитового, 3 - мегакристаллы Гр, 4 - Гр из концентрата. 5,6 - трубка Беле. Гр из парагенезисов: 5 - лерцолитового, 6 - вебстеритового.

I-IV - поля гранатых составов из парагенезисов: I - верлитового, II - лерцолитового, III - гарцбургит-дунитового, IV - алмазсодержащих ассоциаций [Sobolev, 1975].

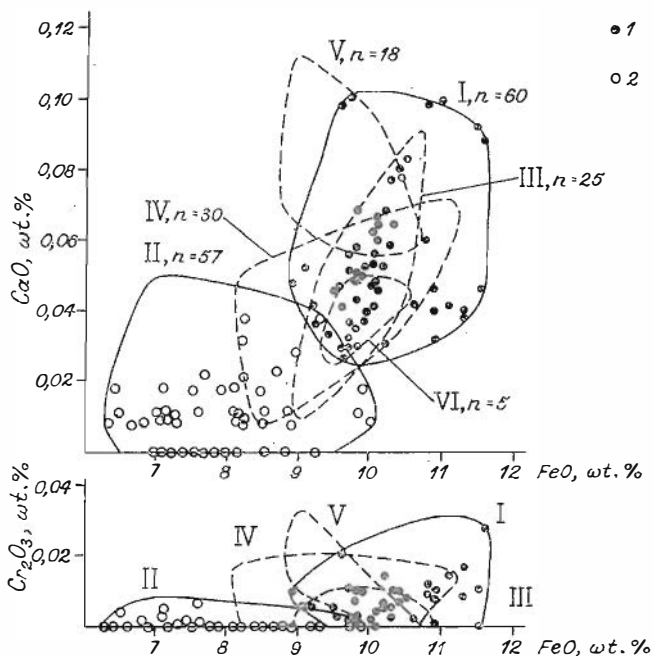


Fig. 9. Variations in the contents of microimpurities vs FeO concentration in olivines of gar- and spn-bearing parageneses from the ultramafic Mg-type xenoliths in alkaline basalts of Khakasia and some other regions.

n - number of analyses, solid and broken lines of the contours I-V - fields of olivine compositions from; I,1 - basaltoid pipes from Khakasia, II,2 - Obnazhennaya kimberlite pipe from Yakutia, III,VI - from alkaline basalts: III - Mongolia, IV - Australia, V - USA, VI - Hawaiian Isls.

Рис. 9. Вариации содержаний микропримесей в зависимости от концентрации FeO в оливинах Гр- и Шп-содержащих парагенезисов из ультраосновных ксенолитов Mg типа в щелочных базальтоидах Хакасии и других регионов.

n - число анализов, сплошные и штриховые контуры I-V - области составов оливинов из: I,1 - базальтоидных трубок Хакасии, II, 2 - кимберлитовой трубки Обнаженная в Якутии, III-VI из щелочных базальтоидов, III - Монголии, IV - Австралии, V - США, VI - Гавайских островов.

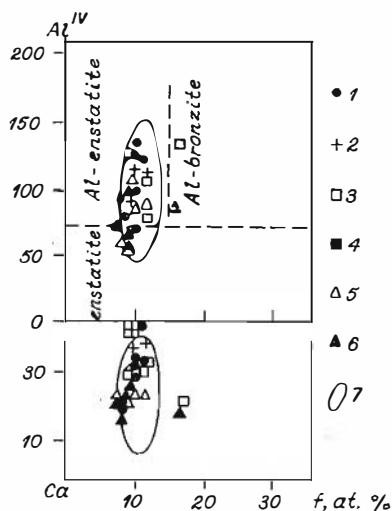


Fig.10. Relations between  $Al^{IV}$ , Ca contents and f in orthopyroxenes from xenoliths of volcanic pipes in Khakasia and alkaline basaltoids in Mongolia.

1,2 - Tergeshskaya pipe: 1 - spinel-lherzolite paragenesis, 2 - garnet-lherzolite paragenesis; 3,4 - Bele pipe: 3 - lherzolite paragenesis, 4 - websterite paragenesis; 5,6 - spinel-lherzolite paragenesis of the pipes; 5 - Kongarovskaya, 6 - Baradzhulskaya; 7 - the same for Mongolian xenoliths.

Рис. 10. Соотношение содержания  $Al^{IV}$ , Ca и железистость в ортопироксенах из ксенолитов вулканических трубок Хакасии и щелочных базальтоидов Монголии.

1,2 - трубка Тергешская: 1 - шпинель-лэрцолитовый парагенезис, 2 - гранат-лэрцолитовый парагенезис; 3,4 - трубка Беле, парагенезисы: 3 - лэрцолитовый, 4 - вебстеритовый; 5,6 - шпинель-лэрцолитовый, парагенезис трубок: 5 - Конгаровская, 6 - Бараджульская, 7 - то же в монгольских ксенолитах.



augites; by the major parameters of their composition they may be correlated with clinopyroxenes of lherzolites nodules from the World's alkaline basalts, described as chrome diopsides. The common peculiarities of Cpx in Gr and Sp-bearing associations is high  $\text{SiO}_2$  contents (52-53 wt %) and low  $\text{Al}^{\text{IV}}$ , which is typical of high pressures, also low  $\text{TiO}_2$  and FeO. In the Ca-Mg-Fe diagram (Fig. 11) the fields of Cpx compositions of the above mentioned parageneses overlap, though there is a trend to higher CaO and lower f and  $\text{TiO}_2$  in Cpx from Sp-lherzolites (Table 4). Since the bulk chemistry of Gr and Sp-lherzolites is practically similar, the observed variations in the composition and  $\text{Ca}/(\text{Ca}+\text{Mg})$  are due to some insignificant variations in the  $P\text{T}$ -conditions of their formation, that, in general, corresponds to the facies transition field of Sp- and Gr-lherzolites.

Spinel is of the compositions within which  $\text{Al}_2\text{O}_3$  contents vary in the range between 54 and 60 wt %, while  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  varies between 8 and 13 wt %; Sp of the garnet parageneses is more magnesian ( $f = 22-23\%$ ) compared with that of Sp-lherzolite paragenesis ( $f = 24-29\%$ ). In all other respects the difference in the Sp composition among the above mentioned mineral associations is but insignificant. There is a similarity in corresponding variations of  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  and  $\text{Al}_2\text{O}_3$  concentrations for spinel from lherzolite xenoliths of Tergeshskaya pipe and Mongolia, though having much wider range of variations (Fig. 12). But there naturally are some differentiation in the composition of spinels of lherzolite nodules and concentrate, in which there dominate highly aluminous varieties of spinellide.

Thus the ultramafic xenoliths in alkaline basalts of Tergeshskaya pipe may be correlated by their chemical composition, petrographic peculiarities, rare-earth characteristics and mineralogy with similar peridotite xenoliths from alkaline basalts of adjacent regions and some other provinces in which there are the occurrences of mafic volcanism in the zones of intercontinental riftogenesis.

The thermobarometric data (Tables 3-5 specify the  $P\text{T}$ -

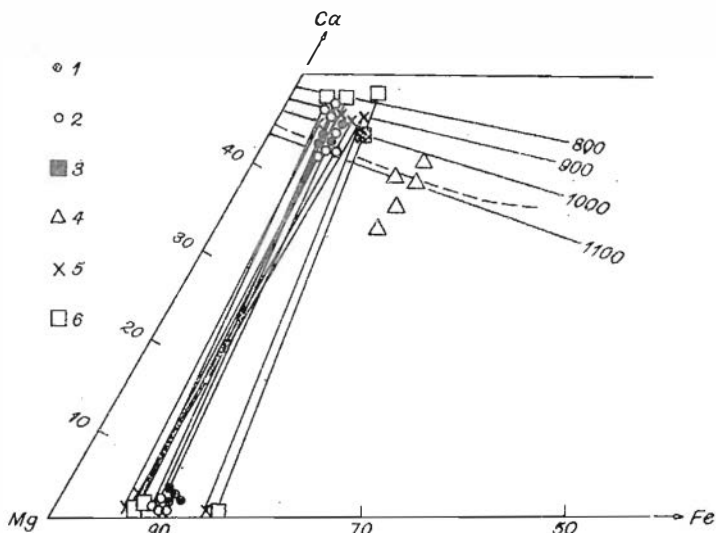


Fig. 11. Coexisting pyroxene compositions in xenoliths from Khasasian pipes in the Mg-Ca-Fe diagram. Isotherms are taken from [Ross, Huebner, 1976]. The broken line corresponds to the solidus for Scarhaard intrusion [Nwe, 1976].

1-4 - Tergeshskaya pipe: 1 - gr-parageneses, 2 - spn-parageneses, 3 - cpx from eclogite paragenesis, 4 - cpx-megacrysts; 5 - gr-and spn-parageneses of Bele pipe; 6 - spn-parageneses of Baradzhul'skaya and Kongarovskaya pipes.

Рис. 11. Сосуществующие пироксеновые составы в ксенолитах хасасских трубок на диаграмме Mg-Ca-Fe. Изотермы по [Ross, Huebner, 1975]. Пунктир - линия солидуса для Скергаардской интрузии [Nwe, 1976].

1-4 - трубка Тергешская, 1 - Гр-содержащие парагенезисы, 2 - Шп-содержащие парагенезисы; 3 - МП из эклогитового парагенезиса, 4 - мегакристаллы МП; 5 - Гр-и Шп - содержащие парагенезисы трубки Беле; 6 - Шп-содержащие парагенезисы трубок Бараджульская и Конгаровская.

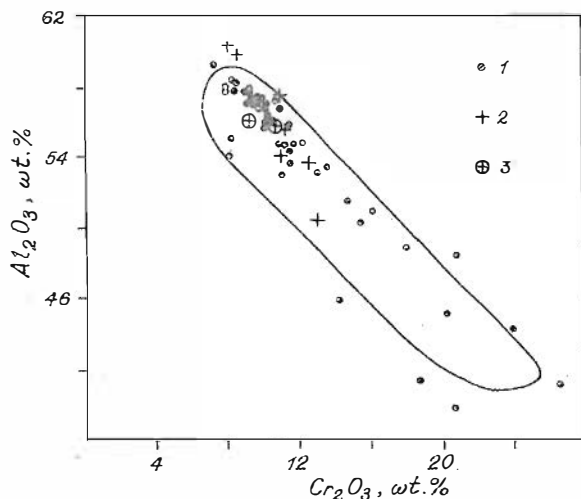


Fig.12. Spinel composition from lherzolite nodules and concentrate of Tergeshskaya pipe.

1 - spinels from concentrate; 2,3 - xenolith spinels: 2 - lherzolite spinel, 3 - lherzolite garnet-spinels; contour-field of spinel compositions from lherzolite nodules from alkaline basalts of Mongolia.

Рис. 12. Состав шпинелей из лерцолитовых нодулей и концентрата трубки Тергешская.

I - шпинели из концентрата; 2,3 - шпинели из ксенолитов: 2 - Шп лерцолитов, 3 - Гр-Шп лерцолитов; контур - область составов шпинелей лерцолитовых нодулей из щелочных базальтоидов Монголии.

conditions of equilibrium of the studied parageneses within 1025-1180°C and 16-18 kbars, which together with the paragenetic analyses proves in favour of the fact that lherzolite nodules of Tergeshskaya pipe belong to the transition field between the spinel-pyroxene and graphite-pyroxene deep-seated facies of the Upper Mantle.

### Megacrysts

The deep-seated inclusions in alkaline basaltoids of Tergeshskaya pipe apart from the Mantle xenoliths composed of lherzolites, pyroxenites and eclogites of the two reported types are represented by the monomineral nodules, whose origin is less clear. These are large (up to 10 cm) single-crystals of garnet or black clinopyroxene almost never ingrown, sometimes containing solitary small inclusions of some different megacrysts. Similar solitary desintegrated or undesintegrated crystals of large size of the same minerals or different ones (phlogopite, K-Na feldspars, olivine) are found to occur together with the ultramafic mantle xenoliths in alkaline basalts and kimberlites of various regions of the World. Most of the scientists dealing with kimberlites consider them to be xenocrysts proceeding from the hypothesis that there are the global zones of the Mantle composed of gigantic mono- or poly-mineral aggregates. Most of the scientists dealing with petrology who studied these crystals in basalts have come to a conclusion that they have some affinity with the host rocks and megacrysts considering them to be the near-liquidus high-pressure phases to crystallize from the melts of some definite composition within the Upper Mantle.

Pyropes of Tergeshskaya pipe are not of large size, though larger than the grains from the aggregates of Mantle xenoliths and phenocrysts of enclosing basalts. Their dimensions vary from 2 cm x 1.4 cm to 4.5 x 3 cm. The shape is irregular, angular or rounded due to the reactionary relation with the enclosing lava with which megacrysts are unequibrated in surficial conditions. Their FeO value is twice

the f of the garnets from lherzolite xenoliths (32-52 %) and 12-17 %, respectively, being much higher than FeO value of pyropes of eclogite paragenesis (f = 22-27 %) of the eruptive center (Table 5). They are practically chromeless ( Fig. 8 ) and have higher  $TiO_2$  ( $TiO_2 = 0.5-0.7\%$ ) than the pyropes of both lherzolititic (0.02 wt %) and eclogitic (0.1-0.2 wt %) parageneses.

Clinopyroxenes are represented by highly aluminous augites of peculiar composition that by chemical composition, morphology and conditions of occurrence are similar to tschermakite pyroxene megacrysts from alkaline basalt provinces of all the continents. They also have specifically high  $Al_2O_3$  (8-9wt%) and lower CaO (14-16 wt%) (Table 5). But among the above mentioned compositions they differ in having somewhat lower contents of jadeite especially compared with high-pressure clinopyroxene crystals from Mongolia. From clinopyroxenes of both the lherzolite and eclogite paragenesis of Tergeshskaya pipe they are distinguished rather significantly as it may be seen from the Ca-Mg-Fe plot (Fig. 7).

Thus the composition, shape and conditions of occurrence of Gr and Cpx megacrysts highly differ from those of similar minerals of the mantle xenoliths with which they do occur in Tergeshskaya pipe basaltoids. But at the same time there was fixed a great similarity of the above parameters with the widespread Gr and Cpx megacrysts that have the affinity with the monomineralic deep-seated inclusions in basalts.

#### Bele Pipe

The volcanic pipe has the shape of conic hill about 100 m high located in 2.5 km north of the Bele lake. It has complex structure (Fig. 13). The central part (100 m in diameter) of irregular shape is composed of tabular basalts whose outcrops terminate the hill. The marginal facies is composed of the weathered Fe-enriched explosive volcanic breccias covered with the bore-holes and channels presumably in the floor of the hill slopes. Basalts contain a number of crustal and mantle xenoliths of the dimensions from 1 cm to 20 cm as well as megacrysts.

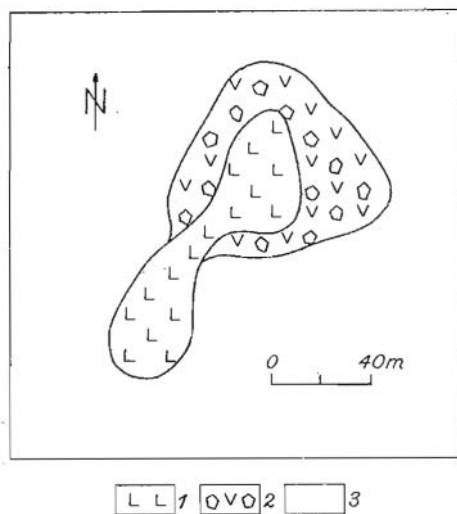


Fig. 13. Schematic map of Bele pipe geologic structure.

1 - alkaline basaltoids, 2 - erruptive breccias, 3 - palaeozoic terrigene host rocks.

Рис. 13. Схема геологического строения трубки Беле.

1 - щелочные базальтоиды, 2 - эруптивные брекчи, 3 - вмещающие трубку терригенные палеозойские толщи.

The host rocks belong to alkaline basanite type basaltoids (Table 6, Fig.3) which are practically similar to Tergeshskaya pipe lavas and differ from them only in lower alkaline contents ( $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} = 4-5 \text{ wt } \% \text{ and } 5-6 \text{ wt } \%$ ). Among the phenocrysts one can find augite and Ti-augite (Table 8) that highly dominate over olivine.

Deep-seated Xenoliths are composed of the fragments of crustal (granulites) and mantle (lherzolites, pyroxenites) rocks. The latter make up a very specific collection of xenoliths typical only of Bele pipe and not of some different volcanic pipes of Khakassia, in which pyroxenites dominate over lherzolites and Fe-Mg rocks of the (black) series make up the abundance versus Mg (green) series. Among the latter there occur both the Sp-parageneses and garnet-lherzolite and garnet-websterite mineral associations, in which garnet is present along with spinel. In the magnesian series Gr-websterites and Sp-diopsidites of Fe-Mg series are composed mainly of spinel clinopyroxenites (augitites) with practically monomineral (Cpx + Sp) and sometimes wehrlite (Ol + Cpx + Sp) paragenesis. The ultramafic Mg-type xenoliths are generally similar by the bulk chemical composition with those from Tergeshskaya pipe (Table 6, Fig. 5). But there are present solitary spinel clinopyroxenes of higher Ca content (up to 17 wt % CaO) that are rather deep-seated ultramafic cumulates of alkaline-basaltic magma (Table 6, Sp. II). A peculiar composition of megacrystalline association from Khakassia proves in favour of this evidence, in which present are both high-aluminous augite and spinel.

Garnet compositionally (Tables 7,8) corresponds to two varieties of varying Fe/Fe+Mg ratio (17-21 % and 29%) as well as to  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  content (1.83 - 3.57 wt% and 0.29 wt %). They were found present both in xenoliths of corresponding parageneses and in concentrate of heavy fraction being typical of lherzolite and websterite parageneses. Garnet of websterite from Bele pipe, as shown in Fig. 7, is very similar with that of eclogite paragenesis of Tergeshskaya pipe, while pyropes of Bele pipe lherzolites are similar with those from Tergeshskaya pipe lherzolites. Moreover, the garnets from Bele pipe

are distinguished from Tergeshskaya pipe by CaO and  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  (Fig. 8). The garnets of lherzolite paragenesis are highly chromiferous and those from websterites contain low  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  in the same way as pyropes in Tergeshskaya pipe eclogites.

Olivines are similar with forsterites of Tergeshskaya pipe, though the varieties with CaO admixture are uncommon of them.

Orthopyroxenes in the same ways as the garnets are composed of the two varieties of enstatite ( $f = 9-11\%$ ) in lherzolite parageneses and bronzites ( $f = 16\%$ ) in websterite parageneses with ferrous garnet (Fig. 10).

Clinopyroxenes of Gr and Sp-parageneses are mainly similar with these minerals in certain mineral associations of Tergeshskaya pipe xenoliths. The exclusion from this general trend is websterite containing bronzite, iron-rich garnet along with associated Cpx rich both in CaO and FeO.

Spinels in the same way as these minerals of Tergeshskaya pipe xenoliths constitute a wide range of compositions with isomorphic substitution of Al and Cr. Nevertheless, Fe-Mg spinel of websterite paragenesis stands apart from high FeO contents (34%) and very low  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  contents (3%) (Table 7). In the Gr and free of Gr parageneses spinels are specified as follows:  $f = 23-31\%$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 46-58\%$  and  $\text{Cr}_2\text{O}_3 = 7-18\%$ . Thus the most aluminous and low chrome ones are the spinels of Fe-Mg type pyroxenites. The spinel compositions from Bele pipe concentrates correspond in a greater degree to a low chrome varieties, whose source possibly was lherzolites and pyroxenites. But also chrome spinellide containing up to 40%  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  are found to occur, whose analogues have not been so far found from the mineral associations (Fig. 14).

Thermodynamic parameters for the studied Gr and Sp parageneses were evaluated as 900-1020°C and 13-16 kbars (Table 7), which corresponds to similar though less deep-seated levels of the Upper Mantle compared with xenoliths of Tergeshskaya pipe, all belonging to the same intermediate spinel-pyrope and graphite-pyrope deep-seated facies.

Megacrystalline Association is composed of the large (2cm x 5 cm) spinel and clinopyroxene crystals of the composition similar to high-aluminous augite from Tergeshskaya pipe



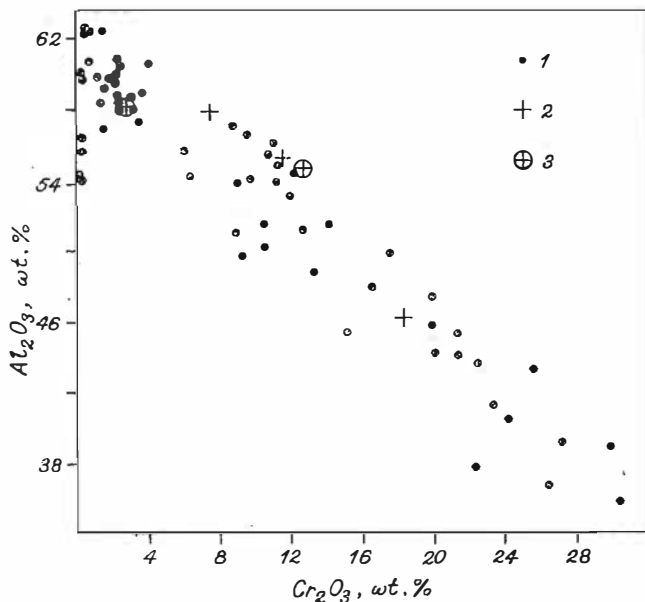


Fig.14. Spinel composition from concentrate and xenoliths of volcanic Bele pipe.

1 - spinel from concentrate; 2,3 - spinels from paragenese: 2 - spinel-bearing, 3 - garnet-spinel-bearing.

Рис. 14. Состав шпинелей из концентрата и ксенолитов вулканической трубки Беле.

1 - шпинели из концентрата, 2,3 - шпинели из парогенезисов: 2 - шпинельсодержащего, 3 - гранат-шпинельсодержащего.

Kongarovskaya and Baradzhul'skaya  
Volcanic Pipes

The volcanic pipes considered here are spatially separated but by the peculiarities of their geologic structure and rock compositions belong to a single "Tergeshskaya pipe" type of garnet-bearing pipes of complex structure. Kongarovskaya pipe is located at the left bank of Chulym river near Kongarovo village. Baradzhul'skaya pipe is about 1.2 km east of the ex-"ulus" Baradzhul. Planar view provides some oval bodies 100 m x 140 m and 160 m x 140 m in diameter (Fig. 15) that in the relief look like the cone-shaped hills up to 50 m high. In the same way as Tergeshskaya pipe they are polygenic structures whose formation was due to, at least, two stages. The early explosive stage is fixed by eruptive breccias that in Baradzhul'skaya pipe make up a wide outer ring, in Kongarovskaya pipe in the recent section make up 70% of the bulk of the rock with a trend to the marginal parts of the pipe. The post-explosive stage is specified by intrusion of basaltoids forming well preserved necks with a horizontal fine-tabular jointing (Baradzhul'skaya intrusion) and abundant dyke bodies.

Basaltoids belong to the least  $\text{SiO}_2$  saturated (44%) rock varieties of Khakassian volcanic pipes, that reveal high alkali content ( $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} = 5-6$  wt %) and magnesian contents (up to 12 wt %  $\text{MgO}$ ) (Table 9, Fig. 3). Among the phenocrysts there dominate clinopyroxene-olivine rock series. Variolitic textures are found to occur but they are of local importance.

As nearly all the pipes, in which eruptive breccias are found in abundance the pipes considered here contain a great number of crustal and mantle xenoliths of both rounded and angular shape of maximum dimensions up to 30 cm. Zoned xenoliths have been fixed in the case when the margins of the pipes are rich in the crustal fragments of mantle rock (up to 20% of the total bulk), while in the central parts the mantle rock fragments are concentrated. Along with the fragments of terrigenic host rocks there are found abundant xenoliths fine-

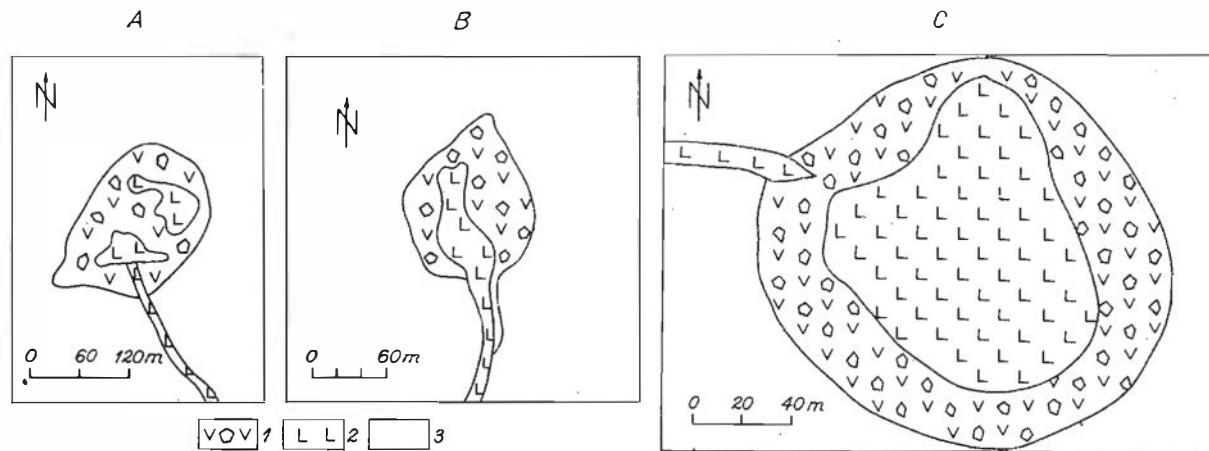


Fig. 15. Schematic map of geologic structure of Kongarovskaya pipe (A), Baradzhusluskaya pipe (B), Krasnoozyorskaya pipe (C) [Kalmikov, 1963].

1 - eruptive breccias, 2 - basaltoids, 3 - Devonian terrigene host rocks.

Рис. 15. Схема геологического строения трубок Конгаровской (А), Бараджульской (В), Красноозёрской (С) [Калмыков, 1963].

1 - эруптивные брекчи, 2 - базальтоиды, 3 - вмещающие терригенные отложения девона.

ly banded that are likely to form lower granulite-pyroxenite horizons in the crustal section of this region.

Mantle Xenoliths are represented by various petrographic varieties of both the ultramafic and mafic composition: lherzolites, wehrlites, clinopyroxenites of Mg-type (diopsidites) and Fe-Mg type (augitites), also eclogites.

The ultramafic xenoliths practically do not differ by their bulk chemical composition from those of Tergeshskaya pipe (Table 9, Fig. 5). The garnets that were found to occur in the concentrate of the two pipes compositionally correspond to the garnets of eclogite paragenesis from Tergeshskaya pipe xenoliths and, perhaps, to Gr-granulites of metamorphic layer in the lowermost part of the Crust (Table 9, Fig. 7). The former are specified by low  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  (0.45 wt% and  $f = 25$ ). The second ones are chrome free almandines.

Sp-parageneses are mainly of Mg-type but the composition of the associated minerals vary in a wider range than those fixed for Opx, Cpx from Tergeshskaya pipe. Apart from parageneses in which f-value of Ol, Opx, Cpx does not exceed generally 11% there are also spinel lherzolites in which f-value of these minerals is up to 15-16% (Baradzhul'skaya pipe) just as in some varieties in Bele Sp-lherzolites (Tables 7, 10, 11). Among orthopyroxenes there are present both enstatite and bronzite having variable  $\text{Al}_2\text{O}_3$  contents (Fig. 10). The coexisting Opx, Cpx pairs compositionally coincide in the Ca-Fe-Mg diagram with those of Tergeshskaya pipe, so they were plotted only in part. Still it may be seen that pyroxene of higher FeO contents can be separated in the same way as the low-temperature Sp-lherzolite parageneses from the Bele pipe. Spinels of this paragenesis correlate by all the parameters with the above ones. The trend towards higher f-value (48%) was fixed only for more ferruginous varieties of Sp-lherzolites (Tables 10, 11). Some classical correlations were also found for similar parageneses between  $\text{Al}_2\text{O}_3$  and  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , though no high chromous compositions were found for the xenoliths (up to 52%  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) that demonstrate spinels from Baradzhul'skaya pipe concentrate (Fig. 16).

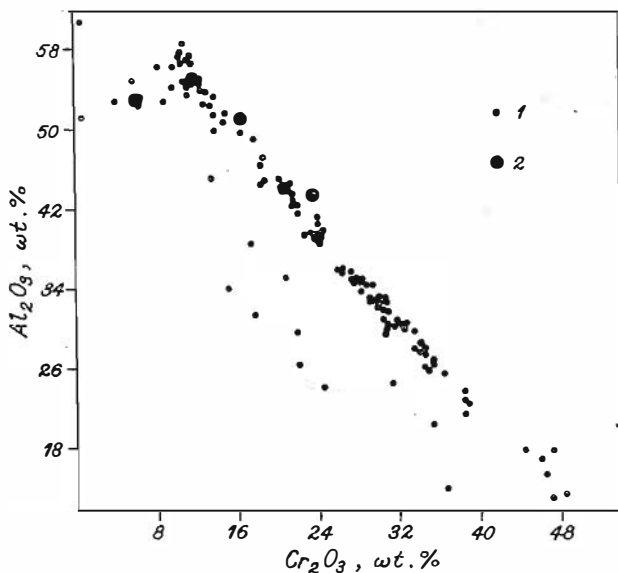


Fig. 16. Contents of  $Al_2O_3$  and  $Cr_2O_3$  in spinels from Baradzhul'skaya pipe

1 - spinels from concentrate, 2 - the same from ultramafic xenoliths.

Рис. 16. Содержания  $Al_2O_3$  и  $Cr_2O_3$  в шпинелях из трубки Бараджульская

1 - шпинели из концентрата, 2 - то же из ультраосновных ксенолитов.

Megacrystalline Rock Series in a sense can be distinguished among the Khakassian volcanic pipes as along with the highly baric phases of augite and pyrope, basaltoids containing large (5-6 cm) K-Na feldspar crystals similar to Mongolian sanidines (Kepezhinskas, 1979).

Geothermal data of the parageneses studied coincide with the earlier ones for Sp-lherzolites or 1147-980°C.

#### Krasnoozyorskaya, Three Brothers and Other Pipes

Among the mantle xenoliths of this pipe group only Sp-parageneses have been found to be present. The pipes themselves are basaltoid necks with the exception of Krasnoozyorskaya pipe composed presumably of eruptive breccias. Their formation is associated mainly with lavas and lava breccias intrusions, though few of the later basaltoid dykes are also found to be present. They are of limited dimensions, simple morphology and more or less homogeneous inner structure. The basalt neck 5 km south-east of Tergeshskaya village, the "satellite" of Tergeshskaya pipe has only 24 m x 15 m.

Three Brothers pipe is also a group of the same small necks having nearly regular rounded shape. The largest (260m x 60 m) is a basalt neck 1 km north-east of the village Kongarovo, a "satellite" of Kongarovskaya pipe.

The lavas forming necks belong to the typical representatives of alkaline basaltoids correlated with basaltoids from different pipes of Khakassia (Table 9, Fig. 3). Eruptive breccias of Krasnoozyorskaya pipe have somewhat anomalous composition, in which the mineral contents of  $\text{SiO}_2 = 43.6$  wt% corresponds to maximum contents of alkalis ( $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} = 6$  wt%).

Among xenoliths both crustal and mantle rocks are present. The latter are Mg-type lherzolites and Fe-Mg type pyroxenites. By the bulk chemical composition and composition of minerals (Tables 9, 12, 13) they are similar with ultramafic xenoliths of the above described pipes. Moreover, in Krasnoozyorskaya pipe as well as in Bele and Baradzhul'skaya pipes both Mg Sp-lherzolites (Sp. 10/6, Table 12) and more ferruginous varieties (Sp. 10/5, Table 12) are present. Hence, one can

see roughly the same range of variations in the thermometric data, or 990-1100°C for the equilibrium temperatures of parageneses under study.

#### CONCLUSIONS

Thus during the field trip in Khakassia the participants of the International Symposium - "Composition and Processes in the Deep-Seated Zones of Continental Lithosphere" may have an opportunity of seeing the peculiarities in the Mesozoic volcanic activity in the zones of intercontinental riftogenesis, also to have a view of the rich mineralogy of various deep-seated inclusions contained in the products of volcanic activity. Geologic and geopetrologic study of alkaline basaltoids and their crustal and mantle xenoliths permit one to conclude on the composition, structure of the Earth's Interior of the region, to reconstruct the crust-mantle cross-sections applying paragenetic analysis, diagnosis of xenoliths of the deep-seated facies, to fix the P-T conditions of various xenolith group formation using thermobarometric calculations corresponding to specific P-T ranges. The ultramafic and mafic inclusions in basaltoids and eruptive breccias of volcanic pipes are specified by a variety of mineral parageneses and rock types. Among these present are spinel and spinel-pyroxene lherzolites, websterites, wehr-lites, clinopyroxenites and more uncommon harzburgites and eclogites. Pyroxenites are found to be present as two types: Mg and Fe-Mg types to differ in the composition of the same mineral phases. Visually it is expressed by a green and black colours of xenoliths. As for the temperature, the above mentioned matter fragments of the deep-seated zones range between 980 and 1157°C; the pressure ranging between 13 and 18 kbars. The parageneses studied have shown that the most deep-seated xenoliths are those of Gr-Sp lherzolite paragenesis ( $T = 1109-1144^{\circ}\text{C}$ ) ( $P = 16-18$  kbars) and eclogite paragenesis ( $T = 1180^{\circ}\text{C}$ ,  $P = 16$  kbars) of Tergheshskaya Pipe, which corresponds to transition zone between the Sp-Py and graphite pyroxene deep-seated facies of the Upper Mantle. (The facies... 1975). More detailed vertical succession of reconstructed

deep-seated cross-section may be illustrated by a global change of this Mg-eclogite-lherzolite section with coexisting Gr and Sp relative to a less deep-seated pyroxenite-lherzolite ones and Sp-rock series of the same Mg-type. Up the section one may expect rather lower-temperature Fe-Mg pyroxenites with wehrlites of subordinate importance followed by granulite-pyroxenites with eclogite-like rocks corresponding to the bottom of the continental crust or its transition zone to the Upper Mantle.

It is to be stressed that even within a limited region of basalt occurrence with the deep-seated xenoliths over the statistically dominating rock types from various volcanic pipes there may be fixed a lateral inhomogeneity of the Upper Mantle. In the south the dominating role of structure of the deep seated zones belongs to Sp- and Gr-pyroxenites (Bele Pipe), while in the northward and eastward directions there can be seen the domination of pyroxenite-lherzolite type of section.

Geochemical characteristics prove in favour of the fact that the source of the deep-seated xenoliths and the original substrate for the alkaline basaltoid melts was the Mantle type rich in the light REE; in some sections this Mantle type was metasomatically altered. The appearance of such types of essentially pyroxenite metasomatic Mantle together with primitive undepleted lherzolite mantle is a characteristic peculiarity of the zones of intercontinental riftogenesis.

The above xenolith localities may be put in the same rank with the most interesting ones in Australia, New Zealand, Mongolia and Hawaii.



## REFERENCES

Deep-Seated Xenoliths and Upper Mantle.- Novosibirsk: Nauka, 1975, p.270 (Russian).

Ellis D.I., Green D.H. An Experimental Study of the Effect of Ca upon Garnet-Clinopyroxene Fe-Mg Exchange Equilibria. *Contr. Mineral. Petrol.*, 1979, v.71, p.13-22.

Frey F.A., Prinz M. Ultramafic Inclusions from San Carlos, Arizona; Petrologic and Geochemical Data Bearing on Their Petrogenesis. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 1978, v.38, N.1, p.129-176.

Ilupin I.P., Kaminsky F.V., Frantsesson E.V. Geochemistry of Kimberlites.- Moscow, Nedra, 1978, p.352 (Russian).

Irving T.N., Barager W.R.A. A Guide to Chemical Classification of the Common Volcanic Rock. *Canad. J. Earth Sci.*, 1971, v.8, p.523-548.

Kalmykov N.T. On Volcanic Pipes of Minusa Intermountain Depression. *Izv. AN SSSR, Ser. Geol.*, 1963, N.2, p.80-89 (Russian).

Kepezhinskas V.V., Gladkikh V.S., Zaikov V.V., Kurgan'kov P. Geochemistry of the Products of Interplate Continental Volcanism Exemplified by Cenozoic Basaltoids of Tuva. *Geochemistry of Magmatic Rocks from the Recent and Ancient Active Zones.- Novosibirsk*, 1987, p.90-109 (Russian).

Kogarko L.N., Solov'yova L.V., Semyonova V.G., Kolyesov G.M., Shubina N.A. Upper Mantle Composition of Southern Framing of Aldan Schield (Tokinsky Stanovik). *Geochemistry*, 1967, N.12, p.1722-1730 (Russian).

Kononova V.A., Pervov V.A., Drinkin V.I., Kersin A.L., Andreeva E.D. Rare Earth and Rare Elements of Cenozoic Basic Volcanites of Trans-Baikalia and Mongolia. *Geochemistry*. 1987, N.5, p.644-659 (Russian).

Kostyuk V.P., Kostyuk E.A., Basarova T.Yu. et al. Mineralogy and Nature of the Deep-Seated Inclusions in Basalts of Minusa Depression. *Contributions on Genetic Mineralogy and Petrology. - Novosibirsk, Nauka*, 1977, p.9-29 (Russian).

Kryukov A.V., Kryukova Z.V. Pyropes from Tergeshskaya Pipe. *Proceedings on Geology and Minerals of Krasnoyarsk District.- Krasnoyarsk*, 1962, v.3, p.131-140 (Russian).

Kryukov A.V. Structure and Composition of Baradzhu'skaya Pipe, N. Minusa Depressiion. *New Evidence on Geology of S. Krasnoyarsk District.- Krasnoyarsk*, 1963, p.175-191 (Russian).

Kryukov A.V. Geology of Kongarobskaya Pipe in Minusa Depression. Geology and Metallogeny of Effusive-Sedimentary Formations in Siberia.- Moscow: Nedra, 1964, p.190-202 (Russian).

Kryukov A.V. On the New Type of Exposition Pipes in S-W Framing of the Siberian Platform. Geology of the S-W Framing of the Siberian Platform.-Moscow: Nedra, 1964, p.196-240 (Russian)

Kryukov A.V. Principal Features of Diamond-Bearing Potential of Krasnoyarsk District. Proceedings on Metallogeny and Minerals of Krasnoyarsk District.- Krasnoyarsk, 1968, p.155-171 (Russian).

Kutolin V.A., Frolova V.M. Petrology of Ultrabasic Inclusions in Basalts of Minusa Depression and Transbaikalia with Reference to the Upper Mantle Composition. Petrologic Problems of Basic and Ultrabasic Rocks.- Moscow: Nauka, 1972, p.55-59 (Russian).

Luchitsky I.V. Volcanic Activity and Tectonica of Devonian Minuka Depression.- Moscow: Publ. House AN SSSR, 1960, p.206 (Russian).

MacDonald G.A., Katsura T. Chemical Composition of Hawaiian Lavas. J. Petrol., 1964, v.5, p.82-133.

Nakamura N. Determination of REE, Ba, Fe, Mg, Na and K in Carbonaceous and Ordinary Chondrites. Geochim. Cosmochim. Acta, 1974, v.38, N.5, p.757-775.

Nwe Y.Y. Electron Probe Studies of the Earlier Pyroxenes and Olivines from the Skaergaard Intrusion East Greenland. Contr. Mineral. Petrol., 1976, v.55, p.105-126.

Ross M., Heubner J.S. A pyroxene Geothermometer Based on Composition-Temperature Relationships of Naturally Occuring Orthopyroxene, Pigeonite and Augite.- Extended Abstr. of the International Conf. on Geothermometry and Geobarometry. 1975, Pennsylvania State University.

Saggerson E.P., Williams L.A.J. Ngurmanite from Southern Kenga and Its Bearing on the Origin of Rocks in the Northern Tanganyika Alkaline District. J. Petrol., 1964, v.5, N.1, p.40-81.

Saltikovskiy A.Ya., Genschaf Yu.S. Mantle and Volcanism of S-E Mongolia.- Moscow, 1984, p.201 (Russian).

Sobolev N.V. Deep-Seated Inclusions in Kimberlites and the

Problem of the Composition of the Upper Mantle (Engl. Transl., 1974, Izd. Nauka). Amer. Geophys. Union, Washington.- 1977, p.279.

Sobolev V.S., Ed. The Facies of Regional Metamorphism at High-Pressures (Engl. Transl., 1974). Izd.Nedra. Australian National University, Canberra, 1975, p.363.

Vladimirov B.M., Volnyanjuk N.Ya., Ponomarenko A.I. Deep-Seated Inclusions from Kimberlites, Basalts and Kimberlite-like Rocks.- Moscow, Nauka, 1976, p.284 (Russian).

Wells P.R.A. Pyroxene Geothermometry in Simple and Complex System. Contrib. Mineral. Petrol., 1977, v.62, p.129-139.

Wilshire H.G., Shervais J.W. Al-Augite and Cr-Diopside Ultramafic Xenoliths in Basaltic Rock from Western United States. Physics and Chemistry of the Earth, 1975, v.9, p.257-272.

Wood B.J., Banno S. Garnet-Orthopyroxene and Orthopyroxene-Clinopyroxene Relationships in Simple and Complex System. Contrib. Mineral. Petrol., 1973, v.42, p.109-124.

Wood B.J. Solubility of Alumina in Orthopyroxene Coexisting with Garnet. Contrib. Mineral. Petrol., 1974, v.46, p.1-15.

Проявления мезозойского и кайнозойского щелочно-базальтоидного вулканизма широко распространены в Центрально-Азиатской складчатой области, включающей южные территории СССР, в том числе Хакасскую автономную область, где расположены многочисленные вулканические трубки с глубинными включениями. Эти образования связаны с этапом новейшей тектономагматической активизации региона, которая наиболее интенсивно развивалась в течение кайнозойского времени, но первые признаки которой локально фиксируются уже в конце мезозоя. Ведущим тектоническим процессом, обусловившим вулканические явления, был рифтогенез континентальной литосферы. Он привёл к формированию Байкальской рифтовой системы и связанных с нею рифтовых структур Монголии, Тувы и Хакасии. Внутриконтинентальный рифтогенез сопровождался щелочно-базальтоидным вулканизмом, наиболее ранние проявления которого усугубляются в районе, предлагаемом вниманию участников международного симпозиума.

Вулканические трубки сосредоточены в локальной области, приуроченной к зоне сочленения самых северных покровно-складчатых каледонских структур Центрально-Азиатского складчатого пояса с мезозойской Западно-Сибирской плитой. Здесь выделяется Минусинский девонско-каменноугольный межгорный прогиб, по северной периферии которого в пределах Чулымо-Енисейской впадины располагается своеобразный ареал щелочно-базальтоидного вулканизма. Он представлен почти исключительно корневой системой вулканических излияний в виде сложно построенных вулканических трубок, лавовых neckов и многочисленных даек. Покровная фация не зафиксирована. Вулканические породы прорывают самые молодые в районе терригенные отложения девона и карбона. На этом основании первые исследователи этих пород определяли их возраст в интервале верхняя пермь-триас /Лучицкий, 1960; Кржков, 1963, 1964, 1968/. Абсолютное изотопное датирование, выполненное для цирконов из концентрата трубки Беле в геофизической лаборатории Института Карнеги, США, даёт  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  возраст внедрения базальтоидов, равный 77,9 млн лет /Г. Дэвис, устное сообщение/.

Материалы И.В. Лучицкого и А.В. Кржкова показывают, что вулканические трубки и дайки сгруппированы по периферии Копьевско-

го куполовидного поднятия (рис. I) и приурочены к флексурам северо-западного простирания, заложенным на глубинных разломах. Выделяется три участка, в которых сконцентрировано более 20 экзотрибульных тел. Это северный участок в бассейне реки Чулым близ деревни Конгарово, западный – вблизи озера Учум и станции Копьёво и южный – между озером Беле и деревнями Когунек и Тергеш (см. схему экскурсионного маршрута).

#### ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Вулканические трубки образуют хорошо выраженные в рельефе конусовидные холмы, возвышающиеся над окружающей местностью на 30–60 м. Они имеют округлые очертания, диаметр от 80 до 540 м и характеризуются сложным внутренним строением. Лавовые нейки обычно более мелких размеров и разнообразной морфологии, дайки достигают 10–15 м мощности при протяжённости до нескольких сотен метров. В целом это многофазные образования, сложенные эруптивными брекчиями, в изменённом цементе которых наблюдаются реликтовые структурно-минералогические признаки вулканических пород, и базальтами, которые являются типичными представителями щёлочно-базальтоидного магматического типа.

Базальты и особенно эруптивные брекчии переполнены обломками разнообразных пород и мономинеральными включениями, исследованием которых занимались многие геологи /Крюков, 1962, 1968; Кутелин, 1972; Владимиров и др., 1976; Костюк и др., 1977 и др./, а также авторы данного путеводителя. Суммируя результаты этого изучения мы выделяем три крупные группы включений: коровые ксенолиты, мантийные ксенолиты и мономинеральные включения, известные под названием мегакристаллов, состав и происхождения которых существенно различаются.

Коровые ксенолиты представлены разнообразной группой осадочных, магматических и метаморфических пород. Наиболее важными являются малоизученные до настоящего времени ксенолиты гранулитов и эклогитоподобных пород, содержащих информацию о составе и строении глубинных зон континентальной коры.

Мантийные ультраосновные и основные ксенолиты изучены значительно лучше, что позволяет выделить среди них два типа: магнезиальные ( $Mg$ ) и железисто-магнезиальные ( $Fe-Mg$ ) ксенолиты, которые по разным классификациям соответствуют "зелёной" серии с

хромдиопсидом или типу I и "чёрной" серии с авгитом или типу II / Wilshire, Shervais, 1975; Frey, Prinz, 1978 и др./ . Магнезиальный тип ксенолитов рассматриваемого региона представлен в основном гранатовыми и шпинелевыми лерцолитами, реже вердитами, диопсидитами и эклогитами. Петрология ксенолитов магнезиального типа однозначно указывает на мантийный генезис этих образований. Железисто-магнезиальный тип неоднороден по происхождению объединяемых им пород. С одной стороны, он включает клинопироксениты, вебстериты и значительно реже шпинелевые лерцолиты, которые большинством исследователей рассматриваются как фрагменты вещества верхней мантии. С другой - в нём присутствуют пироксениты, минералого-геохимические признаки которых позволяют считать их ультраосновными кумулатами щелочно-базальтоидной магмы.

Третья группа мономинеральных включений объединяет крупные и дезинтегрированные одиночные кристаллы пироба, высокоглинозёмистого авгита и санцидина. Они несут минералого-петрологические признаки высокобарических минералов, но имеют дискуссионное происхождение. Обычно их рассматривают в качестве глубинных близликвидусных фаз мантийной кристаллизации щелочных базальтоидов, или в более редких случаях трактуют в качестве ксенокристаллов.

С точки зрения ксенолитов и вмещающих пород вулканические трубки Хакасии изучены неодинаково, поэтому дальнейшая характеристика их приведена с разной степенью детальности. Наибольший интерес, как источники информации о строении и составе верхней мантии, представляют трубки Тергемская и Беле, в которых обнаружены пироповые перидотиты и эклогиты.

#### Принятые сокращения

- Гр - гранат
- МП - моноклинный пироксен
- Ол - оливин
- РП - ромбический пироксен
- Шп - шпинель
- f -  $Fe / (Fe + Mg)$  ат. %
- n - число анализов

## ТРУБКА ТЕРГЕШСКАЯ

Это одна из наиболее хорошо и детально изученных диатрем, расположенных в поле развития девонских терригенных образований, представленных красноцветными известковистыми песчаниками, аргиллитами с подчинёнными мергелями и гравелитами /Кржков, 1963, 1964, 1968; Кутолин, Фролова, 1972; Костюк и др., 1977; Соболев, 1975 и др./ . Экзоконтактовое воздействие внедрившихся магматических пород незначительно и сводится главным образом к деформационным эффектам (изгибание и поднятие слоёв, флексуобразование, разрывная тектоника). Морфологически трубка практически не выражена на поверхности, и только часть её, сложенная базальтами, образует выдающуюся над окружающей равниной конусовидную сопку высотой до 40 м. По материалам магнитной съёмки и горным выработкам устанавливается сложная конфигурация двух близкорасположенных трубообразных тел (рис. 2) с размерами 540 x 120-230 м и 180 x 100 м. Они слегка вытянуты в СВ направлении параллельно джиримской флекуре и связаны с тектоническими нарушениями, оперяющими крупный разлом. Выявляется воронкообразная форма тел с крутым (40-60°) падением контактов внутрь трубки.

Трубка Тергешская сложена зруптивными брекчиями и более поздними внедрениями небольших объёмов базальтов, образующих мелкие (до 10 м в диаметре) штоки с многочисленными апофизами и дайками.

Зруптивные брекчии представляют собой сильно изменённые вулканогенно-обломочные породы, переполненные ксенолитами вмещающих девонских и более древних коровых пород, и содержащие также в несколько меньшем количестве глубинные включения. Они различаются главным образом соотношением коровых и мантийных ксенолитов и относительным расположением в пределах трубки (рис. 2). Наиболее широко представлены брекчии II-й фазы, образующие основную часть трубки Тергешская. Брекчии I-й фазы сохранились лишь в виде небольших фрагментов мощностью 18-25 м по северной периферии диатремы, а аналогичные породы III-й фазы целиком образуют небольшое изолированное тело непосредственно с СВ, представляющее скорее всего ответвление или апофизу от главного трубчатого ствола.

Таким образом, рассматриваемая диатрема была сформирована в

несколько этапов деятельности Тергешского эруптивного центра, в процессе которой менялись не только типы извержения (пирокластические эксплозии, лавовые излияния), но и состав продуктов вулканизма, как это следует из таблицы I<sup>X</sup>. Анализ наименее выветрелых с минимальным количеством инородных включений образцов эруптивных брекчий показывает, что магматические продукты первых этапов формирования диатремы отличались по составу от базанитов финального этапа (рис. 3). Они были более кремнена-сыщенными, железистыми и, судя по относительно меньшим концентрациям  $TiO_2$  и  $P_2O_5$ , менее щелочными, приближаясь к базальтоидам толеитового петрохимического типа. Поздние базальтоидные внедрения идентифицируются в качестве типичных представителей щелочно-базальтоидного ряда, причём относятся, как показывает сравнение с кайнозойскими щелочными базальтоидами смежных территорий Тувы, к наиболее основному и резко недосыщенному  $SiO_2$  разновидностям данного семейства базальтов с характерным парагенезисом вкрапленников оливин+клинопироксен+лабрадор.

По редкоземельным характеристикам щелочные базальтоиды трубки Тергешская сопоставляются с кайнозойскими щелочными базальтами Байкальской рифтовой системы и резко отличаются от кимберлитов Сибирской провинции (рис. 4). Несмотря на то, что кимберлиты и щелочные базальты имеют перекрывающиеся интервалы колебаний содержания лёгких редких земель, величины концентраций тяжёлых редкоземельных элементов в них различны, что определяет разные типы распределения РЗЭ соответственно со значениями  $(La/Yb)_N$  98-160 и 9-25. Тергешские базаниты аналогичны наименее обогащённым с отношением  $(La/Yb)_N = 9$  представителям щелочных базальтов Джидинского, Витимского ареалов, а также базальтов плато Дариганга в Монголии.

Все разновидности пород, образующих Тергешскую трубку, содержат ксенолиты корового и мантийного генезиса, а также крупные (до нескольких сантиметров) мономинеральные модули. Количественные соотношения между этими тремя группами включений, размеры последних и общий объём ксеногенного материала сильно варьирует в разных частях диатремы и в различных типах вмещающих пород.

х Здесь и далее табл. см. в Приложении



В целом коровые ксенолиты преобладают над мантийными. Наибольшее количество ксенолитов содержат эруптивные брекчии II-й фазы (до 60 %) и III-й фазы. Наиболее крупные размеры чужеродных обломков также зафиксированы в этих разновидностях вплоть до крупных (I м) фрагментов корового вещества. Обломки в эруптивных брекчиях I-й фазы и базальтах обычно не превышают 5 см.

Коровые ксенолиты представлены в основном разнообразными терригенными и карбонатными породами вмещающих девонских и более древних (кембрийских ?) толщ, среднепалеозойскими эффузивами от основного до кислого состава, а также гранитоидами. Однако наибольший интерес вызывают единичные обломки предположительно нижнекоровых метаморфических пород: кристаллических сланцев, гнейсов, гранито-гнейсов и гиперстеновых гнейсов, которые содержат информацию о составе и строении нижних горизонтов коры, как правило, не вскрытых на земной поверхности рассматриваемого региона.

#### М а н т и й н ы е к с е н о л и т ы

Мантийные ксенолиты образуют широкий ряд ультраосновных пород, варьирующие количества которых зафиксированы во всех разновидностях вмещающих базанитов трубки Тергешская. Повышенным их содержанием отличаются эруптивные брекчии III-й фазы и отчасти базальтоиды. Помимо господствующих ультраосновных ксенолитов встречены единичные, но не менее важные для исследований петрологии глубинных зон коры и мантии, фрагменты эклогитов.

Ксенолиты ультраосновных пород относятся к двум основным типам: магнезиальной или "зелёной" серии ксенолитов, в которых клинопироксен обычно представлен Sr-диопсидом, и железисто-магнезиальной или "чёрной" серией ксенолитов, содержащих клинопироксены авгитового ряда. Магнезиальная серия более разнообразна и включает как преобладающие III-лерцолиты, III-вебстериты, а также Gr-лерцолиты и Gr-вебстериты. Магнезиально-железистая серия в основном пироксенитовая и представлена III-вебстеритами, III-клинопироксенитами и III-ортопироксенитами.

Содержания петрогенных элементов в главных типах ксенолитов: лерцолитах магнезиальной серии и пироксенитах железисто-магнезиальной серии представлены в табл. 2. Несмотря на то, что в данном случае мы имеем дело с различными петрографическими

разновидностями, что осложняет вполне корректное петрохимическое сравнение, общие тенденции различия очевидны, и это подтверждается сопоставлением с ксенолитами указанных двух типов в щелочных базальтоидах Монголии (рис. 5).

Валовый химический состав лерцолитов трубки Тергешская аналогичен также составу примитивных нодулей в базальтоидах Токинского Становика и других регионов, включая океанические острова. Выборочные геохимические характеристики, в частности, распределение редких земель в Шп-лерцолитах, также обнаруживает сходство с распределением РЗЭ в ультраосновных нодулях Токинского Становика и Монголии (рис. 6). На графике выделено два типа распределения РЗЭ в ксенолитах Токинского Становика по материалам Л.Н.Когарко и др./1987/. Первый тип, приближающийся к хондритовому с низким и примерно одинаковым для лёгких и тяжёлых РЗЭ уровнем концентраций  $(La/Yb)_N = 0,3-1,4$ , наблюдается в Шп-лерцолитах магнезиального типа (зелёная серия с  $Cr$ -диопсидом), которые рассматриваются в качестве фрагментов примитивной мантии. Второй тип, сильно обогащённый лёгкими РЗЭ, характерен для ксенолитов зелёной серии, обогащённых пироксеновой составляющей и представляющих фрагменты метасоматически изменённой мантии с более высоким отношением  $(La/Yb)_N = 7-32$ . Распределение РЗЭ в Шп-лерцолитах трубки Тергешская  $(Ce/Yb)_N \sim 3$  приближается к обогащённому типу метасоматически изменённой мантии, однако отличается значительно более высоким содержанием  $Yb$ , что характерно для подплавленной мантии с накоплением этого элемента в продуктах частичного плавления.

Состав минералов в Гр- и Шп-содержащих парагенезисах ультраосновных и основных ксенолитов представлен в таблицах 3, 4, 5.

Гранаты лерцолитового парагенезиса, независимо от того, присутствует в нём шпинель или нет, относятся к малохромистой ( $Cr_2O_3 \sim 1\%$ ) разновидности с постоянной  $f = 17$  ат.%. Они являются более магнезиальными по сравнению с гранатами из лерцолитовых ксенолитов Монголии и аналогичны по Ca-Fe-Mg компонентному составу магнезиальным гранатам из алмазов (рис. 7). В эклогитовом парагенезисе гранат более железистый ( $f = 22-27$  ат.%) практически несодержащий Cr, приближающийся по составу к аналогичным минералам эклогитовых парагенезисов в кимберлитах. Общей особенностью пиропов указанных парагенезисов является постоян-

ная и низкая кальциевость. По уровню концентрации  $\text{CaO}$  они сопоставляются главным образом с ксенолитами основных и ультраосновных пород из щелочных базальтоидов. Исследование вариаций состава гранатов в большой выборке концентрата трубки Тергешская обнаруживает четкую положительную корреляцию между содержанием  $\text{CaO}$  и  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , которая сохраняется и при рассмотрении соотношения этих окислов в пиропсах изученных парагенезисов (рис. 8). Следует также отметить, что в концентрате встречаются пиropy с  $f = 17$  ат.%, аналогичные по составу гранатам из лерцолитового парагенезиса, но отличающиеся вдвое большим содержанием  $\text{Cr}_2\text{O}_3 = 2,54$  мас.%. Состав остальных сосуществующих минералов гранат- и шпинельсодержащих парагенезисов, как видно из таблиц 3-5, существенно не различается.

Оливины рассматриваемых парагенезисов представлены форстеритом с небольшими вариациями железистости ( $f = 9,5-11,5$  ат.%). Примесь  $\text{CaO}$  в них не превышает 0,1% и не зависит от содержания фаялитовой составляющей (рис. 9). В целом концентрации  $\text{CaO}$  сопоставимы с таковыми в оливинах из ультраосновных ксенолитов магнезиального типа в других регионах, но как это видно на рис. 9, резко отличаются от оливинов в аналогичных ксенолитах из кимберлитов. Такое же соотношение в рассматриваемых выборках сохраняется и для  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  (сходство с ксенолитами базальтоидов и отличие от ксенолитов в кимберлитах), хотя содержания этого окисла составляют всего лишь сотые доли процента.

Ортопироксены относятся к энстатитам с постоянной железистостью ( $f = 9-11$  ат.%). РП из Гр-содержащих парагенезисов несколько более глинозёмистый ( $\sim 5-6\%$   $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), чем в Шп-содержащих ассоциациях ( $3,5-5\%$   $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) и имеет тенденцию к более высокому содержанию  $\text{CaO}$  (табл. 3, 4; рис. 10). Тем не менее они чрезвычайно похожи на ортопироксены из Гр- и Шп-лерцолитов в ксенолитах щелочных базальтоидов самых разных провинций мира, в частности Монголии.

Клинопироксены лерцолитовых парагенезисов трубки Тергешская принадлежат малохромистым ( $0,5-0,8\%$   $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) субкальциевым авгитам и по главным параметрам состава сопоставимы с клинопироксенами большинства лерцолитовых нодулей в щелочных базальтоидах мира, описываемых в качестве хромдиопсидов. Общими особенностями МП в Гр- и Шп-содержащих ассоциациях является вы-

соекое содержание  $\text{SiO}_2$  (52–53 мас. %) и соответственно низкое –  $\text{Al}^{\text{IV}}$ , что характерно для условий повышенных давлений, низкая титанистость и железистость. На диаграмме Ca-Mg-Fe (рис. II) поля составов МП в указанных парагенезисах перекрываются, однако намечается тенденция к увеличению CaO и уменьшению величины f и  $\text{TiO}_2$  в МП из Шп-содержащих лерцолитов (табл. 4). Поскольку валовая химия Гр- и Шп-лерцолитов практически идентична, наблюдаемые колебания состава и прежде всего отношение  $\text{Ca}/(\text{Ca}+\text{Mg})$  вызваны незначительными вариациями P-T-условий формирования, которые в целом отвечают области перехода фаций Шп- и Гр-лерцолитов.

Шпинель представлена рядом составов, в пределах которого содержание  $\text{Al}_2\text{O}_3$  изменяется в интервале 54–60 мас.%, а  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  – 8–13 мас.%. Шпинель из гранатсодержащих парагенезисов более магнезиальная (f = 22–23 ат.%) по сравнению с этим минералом из шпинель-лерцолитового парагенезиса (f = 24–29 ат.%). В остальном различия в составе шпинелей между указанными минеральными ассоциациями незначительны. Отмечается сходство сопряженных изменений концентраций  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3$  в шпинелях из лерцолитовых ксенолитов трубки Тергешская и Монголии, хотя в последнем случае наблюдается более широкий интервал вариаций (рис. I2). Вместе с тем очевидны и различия в составе шпинелей из лерцолитовых нодулей и концентрата, в котором резко преобладают более высокоглинозёмистые разновидности шпинелидов.

Таким образом, ультраосновные включения в щелочных базальтоидах трубки Тергешская по химизму, петрографическим особенностям, редкоземельным характеристикам и минералогии сопоставляются с аналогичными перидотитовыми нодулями из щелочных базальтоидов смежных регионов и других провинций с проявлениями базитового вулканизма в зонах внутриконтинентального рифтогенеза.

Термобарометрические оценки (табл. 3–5) характеризуют P-T-условия равновесия изученных парагенезисов в интервале 1025 – 1180°C и 16–18 кбар, что в совокупности с парагенетическим анализом указывает на принадлежность лерцолитовых нодулей трубки Тергешская к области перехода между шпинель-пироксеновой и графит-пироповой фациями глубинности верхней мантии.

## Мегакристаллы

Глубинные включения в щелочных базальтоидах трубки Тергешская помимо мантийных ксенолитов, сложенных лерцолитами, пироксенитами и эклогитами двух охарактеризованных выше типов, представлены также мономинеральными нодулями, происхождение которых менее ясно. Это крупные до 10 см одиночные кристаллы, почти никогда не образующие сростков и иногда содержащие лишь единичные мелкие включения других мегакристаллов, в данном случае образованы гранатом и чёрным клинопироксеном. Аналогичные одиночные крупные целые или дезинтегрированные кристаллы как таких же минералов, так и других (флогопит, кали-натровые полевые шпаты, оливин) встречаются вместе с ультраосновными мантийными ксенолитами в щелочных базальтах и кимберлитах самых различных регионов мира. Как правило, большинство исследователей кимберлитов рассматривает их в качестве ксенокристаллов, очевидно, предполагая наличие в мантии глобальных зон, сложенных гигантозернистыми моно- или полиминеральными агрегатами. Подавляющее большинство петрологов, изучающих эти кристаллы в базальтах, приходят к выводу о родственном с вмещающими породами происхождении мегакристаллов и считают их близиквидусными фазами высокого давления, кристаллизующимися из соответствующих расплавов в пределах верхней мантии.

Пиропы трубки Тергешская невелики по размерам, хотя и превышают величину зёрен в агрегатах мантийных ксенолитов и фенокристаллов вмещающих базальтов. Размеры колеблются от 2 x 1,4 см до 4,5 x 3 см. Форма неправильная угловатая или округлённая за счёт реакционных взаимоотношений с вмещающей лавой, с которой мегакристаллы неравновесны в поверхностных условиях. Их железистость более чем в два раза превышает  $f$  гранатов из лерцолитовых ксенолитов (соответственно 32-52 ат.% и 12-17 ат.%) и значительно выше железистости пиропов эклогитового парагенезиса ( $f = 22-27$  ат.%) данного эруптивного центра (табл. 5). Они практически бесхромовые (рис. 8) и более титанистые ( $TiO_2$  0,5-0,7 мас.%), чем пиропы лерцолитового (0-0,2 мас.%) и эклогитового (0,1-0,2 мас.%) парагенезисов.

Клинопироксены представлены своеобразными по составу высокоалюминиевыми авгитами, которые по особенностям химизма, мор-

фологии и условиям нахождения аналогичны чермакитовым пироксеновым мегакристаллам из щелочных базальтовых провинций всех континентов. Их также отличает высокое содержание  $Al_2O_3$  (8 - 9 мас.%) и пониженное  $CaO$  (I4-I6 мас.%) (табл. 5). В то же время в ряду указанных составов они выделяются несколько пониженными содержаниями жадеитовой составляющей, особенно по сравнению с высокобарическими мегакристаллами клинопироксена в Монголии. От клинопироксенов лерцолитового и эклогитового парагенезиса трубки Тергешская они отличаются весьма существенно, как это прежде всего видно на диаграмме  $Ca - Mg - Fe$  (рис. 7).

Таким образом состав, форма и условия нахождения рассмотренных мегакристаллов Гр и МП обнаруживают резкие отличия от аналогичных минералов в мантийных ксенолитах, вместе с которыми они встречаются в базальтоидах трубки Тергешская. В то же время наблюдается значительное сходство по перечисленным параметрам с широко распространёнными в мире мегакристаллами Гр и МП - родственными мономинеральными глубинными включениями в базальтах.

#### ТРУБКА БЕЛЕ

Вулканическая трубка образует коническую сопку высотой около 100 м, расположенную в 2,5 км к северу от оз. Беле. Она имеет сложное строение (рис. 13). Центральная часть (~100 м в диаметре) неправильной в плане формы образована столбчатыми базальтами, скальные выходы которых венчают сопку. Краевая фация представлена сильно выветрелыми и ожелезненными эксплозивными вулканическими брекчиями, вскрытыми шурфами и канавами в основании склонов сопки. Базальты содержат большое количество разнообразных коровых и мантийных ксенолитов размером от 1 до 20 см, а также мономинеральных нодулей - мегакристаллов.

В м е щ а ю щ и е к с е н о л и т ы п о р о д ы относятся к щелочным базальтоидам базанитового типа (табл. 6; рис. 3), практически аналогичным Тергешским лавам и отличающимися от них несколько меньшими содержаниями щелочей (соответственно  $Na_2O + K_2O = 4-5$  мас.% и 5-6 мас.%). Среди вкрапленников авгит и Ti-авгит (табл. 8) резко преобладают над оливином.

Г л у б и н н ы е к с е н о л и т ы представлены фрагментами коровых (гранулиты) и мантийных (лерцолиты, пироксени-

ты) пород. Последние образуют характерную только для трубки Беле и не свойственную другим вулканическим трубкам Хакасии коллекцию ксенолитов, в которой пироксениты преобладают над лерцолиитами, а породы Fe-Mg (чёрной) серии составляют большинство по отношению к Mg (зелёной серии). Среди последних наряду с Шп-содержащими парагенезисами отмечаются гранат-лерцолиитовые и гранат-вебстеритовые минеральные ассоциации, в которых гранат присутствует вместе со шпинелью. В магнезиальной серии большинство составляют Гр-вебстериты и Шп-диопсидиты. Fe-Mg серия представлена в основном шпинелевыми клинопироксенитами (авгититами) с практически мономинеральным (МП+Шп) и реже верлитовым (Ол+МП+Шп) парагенезисами. Ультраосновные ксенолиты магнезиального типа, как правило, аналогичны по валовому химическому составу таковым трубки Тергешская (табл. 6, рис. 5). Однако среди них присутствуют единичные шпинелевые клинопироксениты повышенной кальциевости (до 17 мас.% CaO), которые скорее всего представляют глубинные ультраосновные кумуляты щелочно-базальтоидной магмы (табл. 6, обр. II). В пользу этого свидетельствует и необычный для хакасских трубок состав мегакристовой ассоциации, в которой наряду с высокоглинозёмистым авгитом присутствует шпинель.

Гранат по составу (табл. 7, 8) отвечает двум разновидностям различающимся железистостью (17-21 ат.% и 29 ат.%) и содержанием  $Cr_2O_3$  (1,83-3,57 и 0,29 мас.%). Они обнаружены как в ксенолитах соответствующих парагенезисов, так и в концентрате тяжёлой фракции, и характерны для лерцолиитового и вебстеритового парагенезисов. На рис. 7 видно, что Гр-вебстеритов из трубки Беле приближается по Ca-Mg-Fe компонентному составу к гранату эклогитового парагенезиса трубки Тергешская, а пироксен лерцолиитов Беле аналогичны таковым из тергешских лерцолиитов. Вместе с тем гранаты трубки Беле отличаются от тергешских по соотношению CaO и  $Cr_2O_3$  (рис. 8). Гранаты лерцолиитового парагенезиса наиболее хромистые, а вебстеритового - малохромистые, как пироксен в тергешских эклогитах.

Оливины аналогичны форстеритам трубки Тергешская, хотя разновидности с примесью CaO в них чрезвычайно редки.

Ортопироксены также, как и гранаты представлены двумя разновидностями: энстатитами ( $f = 9-II$  ат.%) в лерцолиитовых парагенезисах и бронзитами ( $f = 16$  ат.%) в вебстеритовых пара-

генезисах с железистым гранатом (рис. 10).

Клинопироксены Гр- и Шп-содержащих парагенезисов в основном аналогичны этим минералам в соответствующих минеральных ассоциациях тергешских ксенолитов. Из этой общей картины выпадает вебстерит с бронзитом и железистым гранатом, с которыми сосуществует более кальциевый и более железистый МП.

Шпинели аналогично этим минералам в тергешских ксенолитах образуют широкий ряд составов с изоморфным замещением Al и Cr. Тем не менее четко обособляется шпинель Fe-Mg вебстеритового парагенезиса, в которой фиксируется максимальная железистость (34 ат.%) и минимальное содержание  $Cr_2O_3 = 3$  мас.% (табл. 7). В Гр-содержащих и безгранатовых парагенезисах шпинели характеризуются  $f = 23-31$  ат.%,  $Al_2O_3 = 46-58$  и  $Cr_2O_3 = 7-18$  мас.%. Таким образом наиболее глинозёмистыми и малохромистыми оказываются шпинели в пироксенитах Fe-Mg типа. Составы шпинелей из концентрата трубки Беле в значительной части соответствуют малохромистым разновидностям, источником которых, очевидно, были лерцолиты и пироксениты. Вместе с тем встречены хромшпинелиды с высокими содержаниями  $Cr_2O_3$  (до 40 мас.%), аналоги которых в минеральных ассоциациях ксенолитов пока не обнаружены (рис. 14).

Термодинамические параметры для рассмотренных Гр- и Шп-содержащих парагенезисов оцениваются в 900-1020°C и 13-16 кбар (табл. 7), что соответствует хотя и близким, но всё же несколько менее глубинным уровням верхней мантии по сравнению с ксенолитами трубки Тергешская, хотя всё в той же переходной области шпинель-пироксеновой и графит-пироповой фации глубинности.

Ассоциация мегакристаллов представлена крупными (2 x 5 см) кристаллами шпинели и клинопироксеном, аналогичным по составу высокоалюминиевым авгитам трубки Тергешская.



## ВУЛКАНИЧЕСКИЕ ТРУБКИ КОНГАРОВСКАЯ И БАРАДУЛЬСКАЯ

Рассматриваемые вулканические трубки пространственно разобщены, но по особенностям геологического строения и составу слагающих пород относятся к одному "тергешскому" типу сложного построенных гранатосодержащих диатрем. Трубка Конгаровская расположена на левобережье р. Чулым у посёлка Конгарово, Бараджильская - в 1,2 км к востоку от бывшего улуса Бараджиль. В плане это овальные тела с размерами 100 x 140 м и 260 x 140 м (рис. 15), которые в рельефе выделяются в виде островершинных сопков высотой до 50 м. Как и трубка Тергешская, они являются образованиями, формирование которых связано, по крайней мере, с двумя стадиями. Ранняя взрывная стадия фиксируется эруптивными брекчиями, которые в трубке Бараджильская образуют широкое внешнее кольцо, а в трубке Конгаровская на современном срезе составляют до 70 % общего объёма пород, тяготея также к периферическим частям диатремы. Послевузрывная стадия характеризуется внедрением базальтоидов, образовавших хорошо сохранившиеся неки с горизонтальной тонко столбчатой отдельностью (Бараджильская экструзия) и многочисленные дайковые тела.

Базальтоиды относятся к наименее насыщенным  $\text{SiO}_2$  (44 мас.%) разновидностям пород хакасских вулканических трубок, которые вместе с тем обнаруживают высокую щёлочность ( $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} = 5-6$  мас.%) и магнезиальность (до 12 мас.%  $\text{MgO}$ ) (табл. 9; рис. 3). Среди вкрапленников преобладают клинопироксен-оливиновые ассоциации. Местами наблюдаются вариолитовые структуры.

Как почти во всех трубках, в составе которых в больших объёмах наблюдаются эруптивные брекчии, в рассматриваемых диатремах обнаружено огромное количество коровых и мантийных ксенолитов округлой и угловатой формы и максимальных размеров до 30 см. Отмечается зональное распределение ксенолитов, когда периферийные части трубок обогащены коровыми обломками (до 20 % общего объёма), а в центральных частях концентрируются фрагменты мантийных пород. Наряду с обломками терригенных вмещающих пород в большом количестве содержатся ксенолиты тонкополосчатых меланократовых гранулитов и эклогитоподобных пород, образующих, по-видимому, нижние гранулит-пироксенитовые горизонты в коровом разрезе региона.

Магнийные ксенолиты представлены разнообразными петрографическими разновидностями ультраосновного и основного состава: лерцолитами, верлитами, клинопироксенитами Mg (диопсидиты) и Fe-Mg (авгититы) типов, а также эклогитами.

Ультраосновные ксенолиты по валовому химическому составу практически не отличаются от тергешских (табл. 9; рис. 5).

Гранаты, обнаруженные в концентрате обеих трубок, отвечают по составу гранатам эклогитового парагенезиса тергешских ксенолитов, а также, по-видимому, гранатовым гранулитам метаморфического слоя в низах коры (табл. 8, рис. 7). Первые характеризуются низким содержанием  $Cr_2O_3$  (0,45 мас.%) и  $f = 25$  ат.%. Вторые — бесхромовые железистые альмандины.

Шпинельсодержащие парагенезисы в основном магнезиального типа, но состав сосуществующих минералов варьирует в более широких интервалах, чем это установлено для трубки Тергешская. Наряду с парагенезисами, в которых железистость Ол, РП, МП не превышает, как правило II ат.%, встречаются шпинельные лерцолиты, где  $f$  перечисленных минералов составляет I5-I6 ат.%(трубка Бараджувльская), также как в некоторых разновидностях Шп-лерцолитов Беле (табл. 7, IO, II). Соответственно среди ортопироксенов наблюдаются как энстатиты, так и бронзиты с переменными содержаниями глинозёма (рис. IO). Сосуществующие пары РП + МП на диаграмме Ca - Mg - Fe (рис. II) совпадают по составу с таковыми трубки Тергешская и нанесены на рисунок только частично. Вместе с тем видно, что обособляются более железистые пироксены аналогично низкотемпературным Шп-лерцолитовым парагенезисам Беле. Шпинели рассматриваемых парагенезисов также по всем параметрам состава сопоставляются с ранее описанными. Отклонения в сторону большей  $f$  (до 48 %) наблюдаются только в более железистых разновидностях Шп-лерцолитов (табл. IO, II). В них также фиксируются классические корреляционные связи для подобных парагенезисов между  $Al_2O_3$  и  $Cr_2O_3$ , хотя в ксенолитах и не были обнаружены такие высокохромистые составы (до 52 %  $Cr_2O_3$ ), какие демонстрируют шпинели из концентрата трубки Бараджувльская (рис. I6).

Ассоциация мегакристаллов в известном смысле выдающаяся среди хакасских вулканических трубок, так как наряду с отмеченными высокобарическими фазами авгита и пи-

ропа в базальтоидах наблюдаются крупные (до 5–6 см) кристаллы К-Na полевых шпатов, аналогичных монгольским санидинам /Кеппинская, 1979/.

Геотермометрические оценки изученных парагенезисов совпадают с ранее приведёнными для Шп-лерцолитов, т.е. 980–1147°C.

### ВУЛКАНИЧЕСКИЕ ТРУБКИ КРАСНООЗЁРСКАЯ, ТРИ БРАТА И ДРУГИЕ

В этой группе диатрем установлены только Шп-содержащие парагенезисы среди мантийных ксенолитов, а сами трубочные тела представляют собой базальтоидные некки, за исключением Красноозёрской трубки, сложенной преимущественно эруптивными брекчиями. Их формирование связано главным образом с одноактными внедрениями лав и лавовых брекчий, хотя в небольшом количестве наблюдаются и более поздние базальтоидные дайки. Соответственно они характеризуются небольшими размерами, простой морфологией и более или менее однородным внутренним строением. Базальтовый некк в 5 км к ЮВ от посёлка Тергеш, "спутник" трубки Тергешская, имеет всего лишь 24 x 15 м. Три брата – это группа таких же небольших некков почти идеальной круглой формы. Наиболее крупным (260 x 60 м) является базальтовый некк в I км к СВ от посёлка Конгарово, "спутник" Конгаровской трубки.

Лавы, образующие некки, относятся к типичным представителям щелочных базальтоидов и сопоставляются с базальтоидами других диатрем Хакасии (табл. 9; рис. 3). Несколько аномальный состав дают эруптивные брекчии трубки Красноозёрская, в которых при минимальном содержании  $SiO_2 = 43,6$  мас.% фиксируется максимальное содержание щелочей ( $Na_2O + K_2O = 6$  мас.%).

Среди ксенолитов отмечены как коровые, так и мантийные образования. Последние представлены Шп-лерцолитами Mg типа и пироксенитами Fe-Mg типа. И по валовой химии, и по составу минералов (табл. 9, I2, I3) они идентичны ультраосновным ксенолитам ранее описанных диатрем. Более того, в трубке Красноозёрская также, как и в диатремах Беле и Бараджувльская, присутствуют наряду с магниезальными шинелевыми лерцолитами (обр. IO/6, табл. I2) их более железистые разновидности (обр. IO/5, табл. I2). Отсюда примерно тот же, что и отмеченный ранее, диапазон колебаний термометрических оценок, а именно 990–1100°C, для темпе-

ратур равновесия изученных парагенезисов.

## З А К Л Ю Ч Е Н И Е

Таким образом, во время маршрутов по вулканическим трубкам Хакасии участники экскурсии Международного симпозиума "Состав и процессы глубинных зон континентальной литосферы" имеют возможность познакомиться с особенностями проявления мезо-кайнозойского вулканизма в зонах внутриконтинентального рифтогенеза, а также с богатой минералогией разнообразных глубинных включений в продуктах этого вулканизма.

Геолого-петрологическое изучение щелочных базальтоидов и содержащихся в них коровых и мантийных ксенолитов позволяет сделать обоснованные выводы о составе, строении земных недр региона и реконструировать корово-мантийные разрезы, используя парагенетический анализ, диагностику ксенолитов по фациям глубинности и определения P-T-условий формирования различных групп ксенолитов по термобарометрическим расчётам, соответствующим конкретным диапазонам давления и температуры. Ультраосновные и основные включения в базальтоидах и эруптивных брекчиях вулканических трубок характеризуются значительным разнообразием минеральных парагенезисов и типов пород. Среди них установлены шпинелевые и шпинель-пироповые лерцолиты, вебстериты, вермиты, клинопироксениты и более редкие гарцбургиты и эклогиты. Пироксениты присутствуют в виде двух типов: магнезиального и железисто-магнезиального, которые различаются составом одних и тех же минеральных фаз. Визуально это выражается в зелёной и чёрной окраске соответствующих ксенолитов. По температуре перечисленные фрагменты вещества глубинных зон укладываются в интервале 980–1157°C, а по давлению – в диапазон I3–I8 кбар. Изученные минеральные парагенезисы показывают, что наиболее глубинными являются ксенолиты Gr-Шп-лерцолитового (T=1109–1144°C, P=I6–I8 кбар) и эклогитового (T=1180°C, P=I6 кбар) парагенезисов трубки Тергешская, что соответствует зоне перехода между шпинель-пироксеновой и графит-пироповой фациями глубинности верхней мантии /The facies ..., 1979/. Дальнейшая вертикальная последовательность реконструируемого глубинного разреза может быть представлена глобальной сменой этой магнезиальной эклогит-лерцолитовой части с сосуществующими Gr и Шп относительно

менее глубинной пироксенит-лерцолитовой и Шп-содержащей серией пород также магнезиального типа. Выше по разрезу предполагается широкое распространение относительно более низкотемпературных пироксенитов Fe-Mg типа с подчинёнными вермитами и затем гранулит-пироксенитовая с эклогитоподобными породами часть, соответствующая низам континентальной коры или зоне её перехода к верхней мантии.

Следует отметить, что даже в пределах сравнительно ограниченной области распространения базальтов с глубинными ксенолитами по статистически преобладающим типам пород в разных вулканических трубках выявляется латеральная неоднородность верхней мантии. На юге значительную роль в строении глубинных зон играют Шп- и Гр-содержащие пироксениты (трубка Беле), в то время как к северу и востоку преобладает пироксенит-лерцолитовый тип разреза.

Геохимические характеристики свидетельствуют в пользу того, что источником глубинных ксенолитов и материнским субстратом для щелочно-базальтоидных выплавок был обогащённый лёгкими редкими землями тип мантии, в отдельных частях метасоматически изменённой. Появление таких типов существенно пироксенитовой метасоматизированной мантии наряду с примитивной неистощённой лерцолитовой мантией является характерной особенностью зон внутриконтинентального рифтогенеза.

Рассмотренные местонахождения ксенолитов могут быть поставлены в один ряд с наиболее интересными и известными в Австралии, Новой Зеландии, Монголии, Гавайях.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Владимиров Б.М., Волянюк Н.Я., Пономаренко А.И. Глубинные включения из кимберлитов, базальтов и кимберлитоподобных пород.- М.:Наука, 1976.-284 с.
2. Глубинные ксенолиты и верхняя мантия.-Новосибирск:Наука, 1975.- 270 с.
3. Илупин И.П., Каминский Ф.В., Францесон Е.В. Геохимия кимберлитов.-М.:Недра, 1978.- 352 с.
4. Калмыков Н.Т. О вулканических трубках Милусинского мелгорного прогиба //Изв. АН СССР. Сер. геол.-1963.-№ 2.- С. 80-89

5. Кепежинскас В.В. Кайнозойские щелочные базальтоиды Монголии и их глубинные включения. - М.: Недра, 1979. - 312 с.
6. Кепежинскас В.В., Гладких В.С., Зайков В.В., Кургань - ков П.П. Геохимия продуктов внутриплитного континентального вулканизма на примере кайнозойских базальтоидов Тувы. // Геохимия магматических пород современных и древних активных зон. - Новосибирск, 1987. - С. 90-109.
7. Когарко Л.Н., Соловьева Л.В., Семенова В.Г. и др. Состав верхней мантии южного обрамления Алданского щита (Токинский Становик) // Геохимия. - 1987. - № 12. - С. 1722-1730.
8. Кононова В.А., Первов В.А., Дрынкин В.И. и др. Редкоземельные и редкие элементы кайнозойских основных вулканитов Забайкалья и Монголии // Геохимия. - 1987. - № 5. - С. 644-659.
9. Костюк В.П., Костюк Е.А., Базарова Т.Ю. и др. Минералогия и природа глубинных включений в базальтах Минусинской котловины // Материалы по генетической минералогии и петрологии. - Новосибирск, 1977. - С. 3-29.
10. Крюков А.В., Крюкова Э.В. Широпы из трубки Тергешской // Материалы по геологии и полезным ископаемым Красноярского края. - Красноярск, 1962. - Вып. 3. - С. 131-140.
11. Крюков А.В. Строение и состав трубки Бараджульской в Северо-Минусинской впадине // Новые данные по геологии юга Красноярского края. - Красноярск, 1963. - С. 175-191.
12. Крюков А.В. Геология Конгаровской трубки взрыва в Северо-Минусинской впадине // Геология и металлогения эффузивно-осадочных формаций Сибири. - М.: Недра. - 1964. - С. 190-202.
13. Крюков А.В. О новом типе трубок взрыва в юго-западном обрамлении Сибирской платформы // Геология юго-западного обрамления Сибирской платформы. - М.: Недра, 1964. - С. 196-240.
14. Крюков А.В. Основные черты алмазности Красноярского края // Материалы по металлогении и полезным ископаемым Красноярского края. - Красноярск, 1968. - С. 155-171.
15. Кутюлин В.А., Фролова В.М. Петрология ультраосновных включений в базальтах Минусинской впадины и Забайкалья и состав верхней мантии Земли // Проблемы петрологии основных и ультраосновных пород. - М.: Наука, 1972. - С. 55-59.
16. Лучицкий И.В. Вулканизм и тектоника девонских впадин Минусинского прогиба. М.: Изд-во АН СССР, 1960. - 276 с.

17. Салтыковский А.Н., Генштайт Ю.С. Мантия и вулканизм юго-востока Монголии. - М.: ИФЗ, 1984. - 201 с.
18. Ellis D.I., Green D.H. An experimental study of the effect of Ca upon garnet-clinopyroxene Fe-Mg exchange equilibria // *Contr. Miner. Petrol.*- 1979.- V.71.- P.13-22.
19. Frey F.A., Prinz M. Ultramafic inclusions from San Carlos, Arizona; petrologic and geochemical data bearing on their petrogenesis // *Earth. Planet. Sci. Lett.*- 1978.- V.38, N 1.- P. 129-176.
20. Irving T.N., Baragar W.R.A. A guide to chemical classification of the common volcanic rock // *Canad. J. Earth.Sci.*- 1971.- V.8.- P. 523-548.
21. Macdonald G.A., Katsura T. Chemical composition of Hawaiian lavas // *J.Petrol.*- 1964.- V. 5.- P. 82-133.
22. Nakamura N. Determination of REE, Ba, Fe, Mg, Na and K in carbonaceous and ordinary chondrites // *Geochim. Cosmochim. Acta.*-1974.- V.38, N 5.- P. 757-775.
23. Nwe Y.Y. Electron probe studies of the earlier pyroxenes and olivines from the Skaergaard intrusion of East Greenland // *Contr. Miner. Petrol.*- 1976.- V.55.- P.105-126.
24. Ross M., Huebner J.S. A pyroxene geothermometer based on composition-temperature relationships of naturally occurring orthopyroxene, pigeonite and augite // *Extended Abstracts of the International Conference of Geothermometry and Geobarometry - 1975.*- Pennsylvania State University.
25. Saggerson E.P., Williams L.A.J. Ngurumanite from Southern Kenga and its bearing on the origin of rocks in the Northern Tanganyika alkaline district // *J. Petrol.*- 1964.- V.5, N 1. - P. 40-81.
26. Sobolev N.V. Deep-seated inclusions in kimberlites and the problem of the composition of the upper mantle. (English translation of Russian edition, 1974. Izdatel'stvo Nauka). American Geophysical Union, Washington.- 1977.- 279 pp.
27. The facies of regional metamorphism at high pressures (English translation of Russian edition, 1974. Izdatel'stvo Nedra). Australian National University, Canberra.- 1979.- 363 pp.
28. Wells P.R.A. Pyroxene geothermometry in simple and complex system // *Contrib. Mineral. Petrol.*- 1977.- V. 62.-P.129-139.

29. Wilspire H.G., Shervais J.W. Al-augite and Cr-diopside ultramafic xenoliths in basaltic rock from Western United States // Physics and Chemistry of the Earth.- 1975.- V. 9.- P. 257-272.

30. Wood B.J., Banno S. Garnet-orthopyroxene and orthopyroxene-clinopyroxene relationships in simple and complex system // Contrib. Mineral. Petrol.- 1973.- V. 42.- P. 109-124.

31. Wood B.J. Solubility of alumina in orthopyroxene coexisting with garnet // Contrib. Mineral. Petrol.- 1974.- V. 46.- P. 1-15.



Table 1

Composition (wt.%) of eruptive breccias  
and basaltoides of the pipe Tergeshskaya  
Состав (мас.%) эруптивных брекчий и базальтоидов  
трубки Төргешская

Rock	Eruptive breccias		Basanites			
	1	2	3	4	5	6*
Sp.No						
SiO <sub>2</sub>	51,10	54,81	45,27	44,69	47,49	48,68
TiO <sub>2</sub>	1,65	1,61	2,21	2,35	2,31	1,95
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,23	16,39	14,09	13,74	14,18	13,99
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8,32	9,15	5,04	2,51	2,14	4,41
FeO	1,78	1,93	6,92	11,60	7,93	7,48
MnO	0,08	0,11	0,16	0,23	0,17	0,14
MgO	5,44	6,76	9,56	9,02	9,74	8,11
CaO	14,36	4,76	10,49	9,55	9,99	9,58
Na <sub>2</sub> O	3,07	2,09	4,37	3,51	4,16	3,31
K <sub>2</sub> O	1,71	1,80	1,47	1,90	1,51	1,57
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,06	0,07	0,05	-	0,05	0,06
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,20	0,52	0,37	0,90	0,33	0,72
Total	100	100	100	100	100	100
f	49,0	45,7	39,9	46,4	36,1	44,3
H <sub>2</sub> C	4,92	-	1,88	-	2,38	1,10
Calc.loss of ign.	8,69	8,83	0,32	2,48	1,10	3,32

Note. All analyses are scaled to 100 % after H<sub>2</sub>O and calcination losses being subtracted, which values are given in the lower lines. No.1,3,5 are taken from Kostyuk et al./1977/; No.2,4 are taken from Kryukov et al./1964/. \*-in addition to the above oxides, CO<sub>2</sub> = 1,07 wt.% is given.

Примечание. Все анализы пересчитаны к 100 % после вычитания H<sub>2</sub>O и п.п.п., значения которых приведены в нижних графах. № 1,3,5, взяты из /Костюк и др.,1977/; 2,4 - из /Крыков и др.,1964/.

\*- дополнительно к приведенным окислам определено CO<sub>2</sub>=1,07мас.%.

Table 2

Chemical composition (wt.%) of deep-seated xenoliths  
of the pipe Tergeshskaya  
Химический состав (мас.%) глубинных ксенолитов  
трубки Тергешская

Rock	Lherzolites (Mg-type)				Orthopyroxenite(Fe-Mg-type)	Clinopyroxenite(Fe-Mg-type)
	Ol+Opx+Cpx+Gr+Sp		Ol+Opx+Cpx+Sp		Opx+Sp	Cpx+Sp
Sp.No.	151	8/2	3016/3	8/34	162	163
SiO <sub>2</sub>	43,23	44,10	44,93	46,10	49,30	46,16
TiO <sub>2</sub>	0,27	0,12	0,08	0,20	0,42	2,15
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,88	3,00	2,43	3,50	6,84	9,36
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,76	1,10	1,57	0,32	1,71	2,17
FeO	6,73	8,64	9,27	8,80	11,24	7,48
MnO	0,12	0,11	0,30	0,10	0,20	0,12
MgO	39,42	34,38	38,03	33,84	25,88	11,47
CaO	2,69	3,39	2,33	3,50	2,34	15,99
Na <sub>2</sub> O	0,18	0,48	0,30	0,63	0,36	1,94
K <sub>2</sub> O	0,02	0,10	0,17	0,25	0,17	0,05
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,30	0,31	0,28	0,33	0,17	0,03
NiO	-	0,26	-	0,25	-	-
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,02	Tr.	0,06	0,015	0,04	0,02
CO <sub>2</sub>	0,88	1,86	-	0,53	1,54	1,26
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	0,08	0,20	-	0,35	0,20	0,18
Calc.loss of ign.	1,43	1,31	0,35	1,57	0,63	1,68
Total	100,02	99,36	100,10	100,29	101,04	100,19
f	10,5	13,6	13,7	13,1	21,7	31,7

Note. Analyses No. 151,162,163 are taken from Vladimirov et al. /1976/; No.3016/3 is taken from Kostyuk et al./1977/.

Примечание. Анализы взяты: № 151,162,163 из /Владимиров и др., 1976/; №3016/3 - из /Костюк и др., 1977/.

Table 3

Composition (wt.%) of minerals from garnet-bearing parageneses in ultramafic xenoliths  
of the pipe Tergeshskaya

Состав минералов (мас.%) из гранатсодержащих парагенезисов в ультраосновных ксенолитах  
трубки Төргешская

Rock	Mg - type, lherzolites											
Sp.No.	60*		8/2				8/31					
Mineral	Gr	Ol	Opх	Cpx	Gr	Sp	Ol	Opх	Cpx	Gr	Sp	
SiO <sub>2</sub>	42,50	41,50	54,60	53,10	42,20	0,06	40,10	54,40	52,50	42,70	-	
TiO <sub>2</sub>	0,18	-	0,13	0,50	0,17	0,21	-	0,14	0,58	0,17	0,22	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21,80	-	5,18	6,68	22,30	55,80	-	5,55	7,44	22,70	56,00	
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,54	-	0,38	0,85	1,62	10,80	-	0,38	0,83	1,32	9,06	
FeO	7,14	9,3	6,60	3,25	7,55	11,10	10,80	6,64	3,26	8,00	11,80	
MnO	0,26	0,07	0,13	0,03	0,31	0,13	-	0,10	0,08	0,25	0,08	
MgO	20,00	49,70	31,90	14,77	20,15	20,20	17,90	31,20	15,20	20,50	19,90	
CaO	5,69	0,07	1,00	17,75	5,60	0,15	0,10	1,01	17,90	5,02	0,02	
Na <sub>2</sub> O	-	-	0,16	1,75	0,02	-	-	0,24	1,88	0,08	-	
Total	100,1	100,5	100,08	99,68	99,22	98,45	99,29	99,66	99,68	100,74	97,70	
f	16,7	9,5	10,4	11,0	17,4	23,4	11,2	10,7	10,7	17,0	21,9	
T <sup>o</sup> C (Wood, Banno, 1973)					1109				1140			
T <sup>o</sup> C (Wells, 1977)					1025				1072			
P, kbar (Wood, 1974)					16				17			

\* Is from a concentrate, is similar to garnet of lherzolite paragenesis in composition.

\*Из концентрата, по составу аналогичен гранату лерзолитового парагенезиса.

Table 4

Composition (wt.%) of minerals from spinel-bearing parageneses in representative specimens of ultramafic and mafic xenoliths of the pipe Tergeshskaya

Состав минералов (мас.%) из шпинельсодержащих парагенезисов в представительных образцах ультраосновных и основных ксенолитов трубки Тергешская

Rock	Mg-type, lherzolites								Mg-type, wehrlites	Fe-Mg-type, clinopyroxenites		
Sp.No.	8/107					8/34				8/40	70	73
Mineral	Ol	Opx	Cpx	Sp	Ol	Opx	Cpx	Sp	Cpx	Cpx	Cpx	
SiO <sub>2</sub>	41,50	54,50	52,60	-	40,90	53,90	52,80	-	52,90	45,30	45,50	
TiO <sub>2</sub>	-	0,05	0,31	0,14	-	0,17	0,68	0,21	0,35	1,16	1,23	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	4,46	5,00	54,1	-	5,58	7,73	59,80	6,77	11,90	10,90	
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	0,40	0,59	11,2	-	0,48	0,79	8,71	1,13	-	-	
FeO	9,61	6,31	3,13	13,2	10,30	6,42	3,23	10,90	3,11	8,15	7,69	
MnO	-	0,24	0,11	0,30	-	0,12	0,02	0,07	0,05	-	-	
MgO	49,3	31,40	15,40	20,80	47,90	32,0	16,40	20,00	16,1	8,83	10,20	
CaO	-	0,77	20,70	-	-	0,91	18,4	-	18,9	21,1	23,20	
Na <sub>2</sub> O	-	0,05	1,24	-	-	0,24	2,13	-	1,68	1,57	1,02	
Total	100,41	98,18	99,08	99,74	99,10	99,82	101,88	99,69	100,99	98,01	99,64	
f	9,9	10,1	10,2	26,3	10,7	10,1	10,0	23,6	9,8	33,9	29,7	
TPC (Wood, Banno, 1973)		1047				1190						
TPC (Wells, 1977)		.913				1107						

Table 5

Composition of minerals of megacrystalline assemblage and eclogitic paragenesis from  
alkaline basaltoids of the pipe Tergeshskaya (wt.%)

Состав минералов ассоциации мегакристаллов и эклогитового парагенезиса из щелочных  
базальтоидов трубки Тергешская (мас.%)

Mineral	Garnets										Clinopyroxenes		Eclo- gite	TP-I
	Sp. No.	25	41	T-9	T-10	1/3	T-41	1/3(2)	225	57	113	62*	65*	Срх
SiO <sub>2</sub>	39,20	40,00	40,40	40,50	40,70	41,00	41,00	41,60	41,90	42,10	49,44	49,93	54,40	42,20
TiO <sub>2</sub>	0,04	0,74	0,50	0,49	0,61	0,52	0,55	0,12	0,13	0,17	0,90	0,56	0,32	0,12
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20,60	22,00	22,40	22,3	22,0	22,30	22,10	22,60	20,80	21,10	9,11	8,29	9,24	23,60
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,15	0,08	0,01	0,0	0,03	0,0	0,0	0,73	2,21	0,39	-	-	0,03	0,01
FeO	23,20	18,10	13,60	13,70	15,80	13,30	14,60	10,00	10,40	11,80	9,30	8,94	4,53	11,30
MnO	0,82	0,31	0,32	0,34	0,36	0,33	0,38	0,28	0,26	0,27	-	-	0,05	0,14
MgO	10,90	12,30	15,80	14,50	14,30	16,10	14,80	18,30	17,40	17,40	13,90	15,50	12,90	18,50
CaO	3,75	6,62	5,46	5,43	5,27	5,40	5,44	6,33	6,22	6,38	15,05	14,02	17,10	4,83
Na <sub>2</sub> O	-	-	0,12	0,12	0,14	0,12	0,13	-	-	-	1,55	1,45	2,75	-
Total	98,66	100,15	98,61	98,38	99,21	99,07	99,00	99,96	99,32	99,61	99,24	98,70	101,32	100,70
f	52,5	44,8	32,5	33,2	38,3	31,7	35,5	22,4	25,1	27,6	27,2	24,4	16,4	25,5

\* Analyses from Kostyuk et al.,/1977/. For eclogites TP-I T=1180°C and P = 16 kbar /Ellis, Green, 1979/.

\* Анализы из Костюк и др. /1977/. Для эклогитов TP T=1180°C и P=16 кбар /Ellis, Green, 1979/.

Table 6

Chemical composition (wt.%) of deep-seated xenoliths and host basaltoids in pipe Bele  
Химический состав (мас.%) глубинных ксенолитов и вмещающих базальтоидов в трубе Беле

Rock Sp.No.	Spinel lherzolites			Spinel pyroxenite (cumulate)	Host basaltoids			
	37	11/51	11/59	B-10	82-78	16-78	9-11/2	11-78
SiO <sub>2</sub>	43,50	45,40	45,30	51,20	45,47	45,81	45,94	46,89
TiO <sub>2</sub>	-	0,20	0,11	-	2,36	2,86	2,33	2,75
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,42	3,40	2,20	3,42	14,66	14,51	13,89	13,79
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,40	0,27	0,38	1,05	-	-	0,05	-
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,98	0,31	2,42	2,45	3,03	6,92	3,91	8,44
FeO	7,78	9,22	7,99	3,55	9,98	6,50	10,38	5,00
MnO	0,13	0,10	0,14	0,13	0,85	0,16	0,16	0,75
MgO	39,10	35,48	32,94	17,90	8,91	8,34	7,68	7,84
CaO	3,04	3,10	4,76	17,10	9,66	9,81	9,50	9,04
Na <sub>2</sub> O	0,21	0,69	0,32	1,43	2,44	2,59	3,37	3,18
K <sub>2</sub> O	0,08	0,30	0,25	0,53	1,57	1,63	1,55	1,48
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,02	0,01	0,02	0,02	1,07	0,87	1,21	0,84
NiO	0,20	0,26	0,23	0,05	-	-	0,03	-
CO <sub>2</sub>	-	0,53	2,13	-	Total	100	100	100
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	-	0,05	0,20	0,82		0,26	0,76	0,65
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	0,86	0,88	1,17	0,98		2,94	3,28	2,41
Total	99,72	100,12	100,56	100,63				
f	10,6	12,9	13,4	12,5		42,0	39,2	46,9

Note. Analyses of basaltoids are scaled to 100 % after H<sub>2</sub>O and calcination losses being subtracted, which values are given in the lower lines.

Примечание. Анализы базальтоидов пересчитаны к 100 %, после вычитания H<sub>2</sub>O<sup>-</sup> и H<sub>2</sub>O<sup>+</sup>, значения которых в нижних графах.

Table 7

Composition of co-existing minerals (wt.%) in representative garnet- and spinel-bearing parageneses in xenoliths of the pipe Bele  
 Состав сосуществующих минералов (мас.%) в представительных гранат- и шпинельсодержащих парагенезисах в ксенолитах трубки Беле

Sp. No.	11/52, Mg - type					11/67, Fe-Mg - type				11/51, Mg - type			
	Ol	Opx	Cpx	Gr	Sp	Opx	Cpx	Gr	Sp	Ol	Opx	Cpx	Sp
SiO <sub>2</sub>	40,50	54,80	51,00	42,40	—	53,20	52,30	42,70	0,01	40,70	53,90	50,90	-
TiO <sub>2</sub>	-	0,16	0,57	0,20	0,27	0,12	0,51	0,09	0,22	-	0,17	0,69	0,24
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	5,33	7,32	22,60	54,60	3,83	4,58	22,50	58,20	-	5,59	7,86	57,90
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	0,50	1,08	1,83	12,80	0,10	0,24	0,29	2,89	-	0,41	0,72	7,67
FeO	10,6	6,68	3,59	7,44	12,20	10,70	5,00	12,7	21,90	10,20	6,55	3,47	11,20
MnO	-	0,10	0,10	0,32	0,09	0,14	0,08	0,53	0,12	-	0,10	0,15	0,21
MgO	48,10	32,30	15,70	20,30	21,60	31,30	15,50	16,30	16,50	48,70	30,80	14,40	20,90
CaO	-	1,09	18,30	5,27	-	0,54	22,10	5,92	-	-	0,96	18,20	-
Na <sub>2</sub> O	-	0,19	1,76	-	-	-	0,79	-	-	-	0,18	2,00	-
Total	99,20	101,15	99,42	100,36	101,56	99,93	101,10	101,03	99,84	99,60	98,66	98,39	98,60
f	11,0	10,4	11,4	17,1	24,0	16,1	15,4	29,2	34,4	10,5	10,7	11,9	23,1
T°C (Wood, Banno, 1973)	1155					1018				1113			
T°C (Wells, 1977)	1026					902				1037			
P, kbar (Wood, 1974)	15,6					13,4							

Table 8

Composition (wt.%) of minerals from a concentrate and assemblage of megacrystals of the pipes Kongarovskaya (I), Baradzhuskaya (II) and Bele (III)

Состав (мас.%) минералов из концентрата и ассоциации мегакристаллов трубков Конгаровская (I), Бараджувльская (II) и Беле (III).

Finding conditions	Concentrate (I)			Megacryst. Concentrate (I) (II)			Concentrate (III)		From Sp wehr. (III)	Phenocryst. basaltoides	
	16	39	30	61	179	195	1	2	11/2	81	82
Mineral	Gr	Gr	Gr	Cpx	Gr	Gr	Gr	Gr	Cpx	Cpx	Cpx
SiO <sub>2</sub>	41,60	38,70	39,60	49,42	41,70	40,40	42,40	42,10	53,60	47,82	46,58
TiO <sub>2</sub>	0,11	0,15	0,04	1,12	0,04	0,07	0,06	0,05	0,10	2,13	3,48
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	22,40	20,80	22,20	9,20	23,00	22,50	20,60	21,60	5,26	9,33	6,11
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,45	0,00	0,07	0,04	0,00	0,01	3,57	2,33	0,70	-	-
FeO	11,00	27,40	26,80	8,97	11,20	15,20	7,32	9,24	3,02	6,90	8,32
MnO	0,39	0,46	0,26	0,11	0,20	0,30	0,34	0,42	0,04	-	-
MgO	18,10	3,45	11,20	13,55	17,60	15,40	20,60	19,30	15,80	12,18	11,69
CaO	5,81	9,76	0,96	15,14	6,35	5,57	4,80	4,85	20,0	20,78	23,42
Na <sub>2</sub> O	0,02	0,04	0,11	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	1,85	1,56	0,68
Total	99,88	100,26	101,25	99,58	100,14	99,47	99,69	99,91	100,37	100,71	100,30
f	25,5	81,7	57,2	27,1	26,4	35,8	16,6	21,2	9,7		

Note. Analyses No . 61,82,81 are taken from Kostyuk et al. /1977/.

Примечание: Анализы 61,81,82 взяты из /Костюк и др., 1977/.



Table 9

Composition (wt.%) of ultramafic xenoliths and host basalts from volcanic pipes  
of Khakasia

Состав (мас.%) ультраосновных ксенолитов и вмещающих базальтов из вулканических  
трубок Хакасии

Rock	Ultramafic xenoliths		Host basaltoides					
Pipe	Near Ter- geshskaya	Kongarov- skaya	Krasno- ozerskaya	Kongarovskaya		Baradzhu- skaya	Near Ter- geshskaya	Tri Brata
Sp.No.	9/2	4/5I	3-10/6	3-4/8	3-6/25	3-5/34	9/8	3-3/5
SiO <sub>2</sub>	45,58	46,10	43,67	44,04	46,66	44,74	46,29	47,28
TiO <sub>2</sub>	0,54	0,07	2,53	2,29	2,32	2,75	2,34	2,12
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,56	3,53	12,81	12,97	13,49	13,21	13,43	13,58
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,41	0,22	0,05	0,07	0,04	0,06	0,05	0,04
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,82	1,92	4,12	2,51	2,86	5,28	4,02	4,39
FeO	11,48	7,48	10,19	9,37	9,93	7,92	9,10	8,55
MnO	0,12	0,10	0,18	0,16	0,17	0,15	0,17	0,18
MgO	31,91	37,13	9,98	12,25	9,20	10,32	9,92	9,25
CaO	4,12	2,47	9,08	10,31	8,82	8,57	9,26	9,23
Na <sub>2</sub> O	0,83	0,63	4,29	3,82	3,80	3,36	3,31	3,11
K <sub>2</sub> O	0,36	0,10	1,65	1,21	1,66	2,39	1,23	1,42
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,04	0,01	1,42	0,96	1,03	1,22	0,87	0,84
NiO	0,23	0,24	0,03	0,04	0,02	0,03	0,01	0,01
Total	100	100	100	100	100	100	100	100
CO <sub>2</sub>	0,27	0,27	-	-	-	-	-	-
(H <sub>2</sub> O <sup>+</sup> ), L.O.I.(0,92)	(0,99)	(0,99)	1,72	2,17	1,80	5,31	2,77	4,41
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	0,25	0,30	0,46	2,83	0,96	0,52	0,20	0,54
f	17,0	11,2	40,5	32,7	40,6	35,9	38,2	39,0

Table 10

Composition (wt.%) of minerals in representative specimens of spinel lherzolites  
of the pipe Baradzhulskaya

Состав (мас.%) минералов в представительных образцах шпинелевых лерцолитов  
трубки Бараджульская

Sp. No. Mineral	5/5				5/6				5/53			
	Ol	Opх	Срх	Sp	Ol	Opх	Срх	Sp	Ol	Opх	Срх	Sp
SiO <sub>2</sub>	40,10	55,50	54,30	0,05	41,00	54,60	51,40	0,05	41,00	57,40	52,60	-
TiO <sub>2</sub>	-	0,07	0,22	0,10	-	0,12	0,74	0,34	-	0,10	0,19	0,24
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	3,94	5,54	54,80	-	3,55	5,64	53,40	-	2,47	3,29	39,00
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	0,31	0,59	11,80	-	0,16	0,31	6,30	-	0,34	0,76	24,20
FeO	9,82	6,19	2,84	11,90	15,10	9,81	4,58	23,80	9,18	6,27	2,78	16,60
MnO	0,15	0,10	0,03	0,12	0,14	0,13	0,16	0,16	-	0,13	0,12	0,64
MgO	48,30	33,50	15,70	21,00	44,70	31,40	14,30	14,40	49,80	34,70	15,60	17,90
CaO	0,07	0,68	20,30	-	0,05	0,46	22,40	-	-	0,45	21,90	-
Na <sub>2</sub> O	-	0,12	2,01	-	-	0,07	0,98	-	-	0,05	1,07	-
Total	98,49	100,31	101,53	99,77	100,99	100,30	100,51	98,45	100,78	101,91	98,30	98,58
f	10,3	9,4	9,2	24,2	15,90	15,00	15,3	48,1	9,4	9,2	9,1	34,2
T°C (Wood, Banno, 1973)	1076			980				994				
T°C (Wells, 1977)	969			897				876				

Table 11

Composition (wt.%) of minerals in representative xenoliths of spinel lherzolites  
of the pipe Kongarovskaya

Состав (мас.%) минералов в представительных ксенолитах шпинелевых лерцолитов  
трубки Конгаровская

Sp. No. Mineral	6/12				4/22				4/42			
	Ol	Opх	Срх	Sp	Ol	Opх	Срх	Sp	Ol	Opх	Срх	Sp
SiO <sub>2</sub>	41,00	55,10	52,50	-	40,70	55,80	53,50	0,06	41,00	56,00	53,60	-
TiO <sub>2</sub>	-	0,04	0,18	0,11	0,03	0,07	0,18	0,15	-	0,07	0,22	0,16
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	4,18	6,51	48,80	-	3,19	4,30	50,60	-	3,49	3,60	55,00
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	0,54	1,13	19,60	-	0,31	0,56	15,90	-	0,32	0,49	13,00
FeO	8,90	5,79	2,98	13,60	9,80	6,31	2,91	14,40	9,79	7,85	3,23	15,80
MnO	0,16	0,11	0,07	0,14	0,16	0,09	0,04	0,16	-	-	0,02	0,16
MgO	49,40	33,00	15,50	16,90	48,60	33,30	16,20	20,10	49,00	33,30	16,90	17,20
CaO	0,08	0,78	19,70	-	0,07	0,55	21,80	-	-	0,65	22,0	-
Na <sub>2</sub> O	-	0,22	2,24	-	-	0,07	1,10	-	-	0,09	0,72	-
Total	99,54	99,76	100,81	99,15	99,36	99,69	100,59	101,40	99,79	101,68	100,78	101,32
f	9,2	9,0	9,7	31,1	10,1	9,5	9,2	28,6	10,1	11,7	9,7	34,0
T <sub>2</sub> <sup>35</sup> C (Wood, Banno, 1973)	1112				1054				1147			
T <sub>2</sub> <sup>35</sup> C (Wells, 1977)	953				953				1011			

Note. 6/12 is from a basal pipe near the pipe Kongarovskaya.

Примечание. 6/12 из базальтовой трубки рядом с трубкой Конгаровская.

Table 12

Composition (wt.%) of minerals in ultramafic xenoliths of khakassia pipes

Состав (мас.%) минералов в ультраосновных ксенолитах хакасских труб

Pipe	Krasnoozerskaya									Tri Brata			
	10/6				10/5				3026/8	3/2			
Sp.No.	Ol	Opх	Срх	Sp	Ol	Opх	Срх	Sp	Срх	Ol	Opх	Срх	Sp
SiO <sub>2</sub>	40,40	55,60	51,90	0,10	40,10	54,50	52,50	0,07	50,60	40,80	55,50	51,70	0,09
TiO <sub>2</sub>	-	0,06	0,24	0,21	0,02	0,08	0,30	0,10	0,70	0,02	-	0,16	0,12
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	4,68	5,89	56,20	-	4,14	4,47	61,60	5,28	-	3,52	3,35	45,90
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	0,37	0,70	10,80	-	0,04	0,05	0,64	0,12	-	0,42	0,87	19,50
FeO	9,71	6,39	3,34	13,00	14,00	10,90	5,27	21,80	4,79	11,10	7,07	3,37	17,20
MnO	-	-	0,11	0,10	0,18	0,10	0,06	0,15	-	0,20	0,14	0,10	0,24
MgO	48,30	32,80	15,60	18,50	45,60	30,30	15,40	16,70	14,80	46,90	32,00	16,80	17,70
CaO	-	0,73	20,80	-	0,12	0,60	22,90	0,01	23,40	0,07	0,72	21,70	-
Na <sub>2</sub> O	-	0,09	1,40	-	-	0,09	0,57	-	0,63	-	0,23	0,79	-
K <sub>2</sub> O	-	-	-	-	-	0,01	0,02	-	-	-	-	-	-
Total	98,41	100,7	99,9	98,91	100,1	100,7	101,5	101,1	100,32	99,09	99,60	98,84	100,75
f	10,1	9,8	11,2	28,3	14,7	16,8	16,1	42,2	15,4	11,7	11,0	10,1	35,3
T <sub>0</sub> C (Wood, Banno, 1973)	1086			997						1093			
T <sub>0</sub> C (Wells, 1977)	997			938						1014			

Note. Analysis No. 3026/8 is taken from /Kostyuk et al., 1977/.

Примечание. Анализ № 3026/8 заимствован из /Костюк и др., 1977/.

Table 13

Composition (wt.%) of minerals from spinel lherzolites in a basalt pipe near  
the pipe Tergeshskaya

Состав (мас.%) минералов шпинелевых лерцолитов в базальтовой трубке вблизи  
трубки Тергешская

Sp. No. Mineral	9/5				9/8				9/2			
	Ol	Opх	Срх	Sp	Ol	Opх	Срх	Sp	Ol	Opх	Срх	Sp
SiO <sub>2</sub>	50,60	54,40	51,80	-	41,60	55,80	53,60	0,06	41,10	56,50	53,20	0,07
TiO <sub>2</sub>	-	0,16	0,33	0,20	0,02	0,06	0,08	0,11	-	0,06	0,27	0,23
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	4,62	5,95	54,60	-	3,90	5,92	48,10	-	3,51	4,46	55,80
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	0,49	0,72	13,00	0,03	0,43	0,84	18,20	-	0,24	0,46	11,60
FeO	9,76	6,56	3,66	13,20	9,67	6,20	3,16	14,60	10,10	6,23	2,95	12,50
MnO	-	0,12	0,11	0,15	0,17	0,11	0,07	0,24	0,14	0,10	0,04	0,13
MgO	48,70	31,10	16,00	18,7	48,30	33,40	16,00	17,80	48,20	34,20	16,50	19,50
CaO	-	0,92	19,60	-	0,08	0,76	19,90	0,01	0,14	0,49	21,60	-
Na <sub>2</sub> O	-	0,13	1,38	-	-	0,20	1,97	-	-	0,08	1,15	-
K <sub>2</sub> O	-	-	-	-	-	0,02	0,01	-	-	-	-	-
Total	99,06	98,50	99,55	99,85	99,88	100,84	100,54	99,14	100,28	101,41	100,63	99,83
f	10,1	10,6	11,4	28,4	10,1	9,4	10,0	31,5	10,4	9,3	9,12	26,4
T <sub>°C</sub> (Wood, Banno, 1973)	1140				1103				1090			
T <sub>°C</sub> (Wells, 1977)	1069				1000				988			

МАНТИЙНЫЕ КСЕНОЛИТЫ МЕЗО-КАЙНОЗОЙСКИХ  
ВУЛКАНИЧЕСКИХ ТРУБОК ХАКАСИИ

путеводитель экскурсии

Составители

Н.В.Соболев, В.В.Кеpezинская, Ю.И.Овчинников,  
Н.П.Похиленко

Утверждено к печати  
Институтом геологии и геофизики СО АН СССР

Технический редактор Н.Н. Александрова

---

Подписано к печати 03.05.88. МН 09292.  
Бумага 60x84/16. Печ.л. 4,75. Уч.-изд.л. 4,0.  
Тираж 290. Заказ 214. Бесплатно.

---

Институт геологии и геофизики СО АН СССР  
Новосибирск, 90. Ротапринт.

