

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
УРАЛЬСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ И ГЕОХИМИИ
им. акад. А.Н. ЗАВАРИЦКОГО

*Н.В. Вахрушева, П.Б. Ширяев,
А.Е. Степанов, А.Р. Богданова*

ПЕТРОЛОГИЯ
И ХРОМИТНОСТЬ
УЛЬТРАОСНОВНОГО
МАССИВА РАЙ-ИЗ

Полярный Урал

ЕКАТЕРИНБУРГ
2017

УДК 552.321+553.461+552.333.4+549
ББК 26.31(235.55)
П 31

Ответственный редактор
доктор геол.-мин. наук **К.С. Иванов**

Рецензенты
академик РАН **В.А. Коротеев**
(Институт геологии и геохимии УрО РАН)

кандидат геол.-мин. наук **Т.Н. Сурин**
(Всероссийский научно-исследовательский геологический институт,
г. Санкт-Петербург)

Вахрушева Н.В., Ширяев П.Б., Степанов А.Е., Богданова А.Р.

П 31 Петрология и хромитоносность ультраосновного массива Рай-Из (Полярный Урал). – Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2017. – 265 с.

ISBN 978-5-7691-2496-9

В монографии приведены результаты современного исследования геологических комплексов, слагающих уникальный ультрамафитовый массив Рай-Из на Полярном Урале, вмещающий промышленные залежи хромовых руд. Прослежена эволюция вещества ультрамафитов в ходе длительной метаморфической истории массива. На основе анализа оливин-хромшпинелевого парагенезиса, выполненного как для ранних ассоциаций ультраосновных пород, так и для продуктов их метаморфизма и локализованных в них хромититов, сделан вывод об P - T - fO_2 условиях формирования породных комплексов и оруденения. Приведены результаты минералогического и геохимического исследования хромититов, ультрамафитов, а также жильных образований, участвующих в строении массива Рай-Из.

Работа предназначена для геологов, петрологов и специалистов в рудной геологии, занимающихся ультрамафитами, хромовыми рудами, а также офиолитовыми комплексами в целом.

УДК 552.321+553.461+552.333.4+549
ББК 26.31(235.55)

Книга написана и опубликована в рамках финансируемой ФАНО гос. бюджетной темы лаборатории региональной геологии и геотектоники ИГГ, при частичной поддержке проекта УрО РАН № 0393-2018-0030 «Реконструкция условий формирования габбро-ультрабазитовых комплексов Урало-Монгольского пояса ...».

ISBN 978-5-7691-2496-9

© УрО РАН, 2017
© ИГГ УрО РАН, 2017
© Вахрушева Н.В., Ширяев П.Б.,
Степанов А.Е., Богданова А.Р., 2017

ВВЕДЕНИЕ

Массив Рай-Из – это классический геологический объект, где развивались представления о геологии, петрологии и геодинамической природе ультраосновных комплексов (Заварицкий, 1932; Петрология..., 1977; Царицын и др., 1980, 1983, 1986; Макеев и др., 1985; Шмелев, Пучков, 1986; Формирование..., 1986; Строение..., 1990; Перевозчиков, 1995; и др.), а теперь добывается основная часть хромовых руд России.

Научный прорыв, осуществленный в 80-е годы прошлого столетия, в первую очередь сотрудниками Института геологии и геохимии УНЦ АН СССР, немало способствовал созданию сырьевой базы хромовых руд на территории России, своевременно заменившей Кемпирсайское месторождение, оставшееся в Казахстане. В 1978–1980 годах на массиве Рай-Из сотрудниками Института геологии и геохимии – Евгением Павловичем Царицыным и Игорем Степановичем Чашухиным проведены специализированные тематические работы «Место хромитового оруденения в геологической структуре и истории формирования Рай-изского ультраосновного массива». Результаты исследований не утратили актуальности и сегодня, а некоторые материалы использованы нами в настоящей монографии.

По результатам всесторонних исследований, проведенных на массиве, сотрудниками Института геологии и геохимии была подготовлена и опубликована в 1990 году замечательная монография «Строение, эволюция и минерогения гипербазитового массива Рай-Из». Многие вопросы решены и освещены в этой книге. В первую очередь, на наш взгляд, это касается микроструктурных исследований. По данным В.Р. Шмелева и В.Н. Пучкова (Строение..., 1990) на массиве Рай-Из прослеживаются пять этапов деформаций, которые прекрасно увязываются с последовательностью минералообразования, наблюдаемой в ультрамафитах и метаультрамафитах. И.С. Чашухиным выделены основные минеральные ассоциации в ультрамафитах массива с очень не простой метаморфической историей. Уникальными являются, по нашему мнению, результаты электронномикроскопического исследования хромовых шпинелей, полученные Е.П. Царицыным, В.Ю. Алимовым и Л.А. Шерстобитовой.

Данные по составам хромовых руд и рудообразующих шпинелидов (Строение..., 1990; Перевозчиков, 1995; Перевозчиков и др., 2005) получены на стадии поисково-оценочных работ на месторождении Центральное и рудопроявлениях массива в 70-х–80-х годах XX века, когда многие вопросы геологического строения рудовмещающего комплекса, морфологии рудных тел оставались открытыми.

Геолого-тектоническое положение массива Рай-Из значительно уточнено в ходе работ по геологическому доизучению Пайпудынской площади масштаба 1:200 000, основными исполнителями которых были А.П. Прямоносков и А.Е. Степанов (Прямоносков и др., 2001).

С 2002 года ОАО Челябинским электро-металлургическим комбинатом ведется промышленная добыча хромовых руд на месторождении Центральное. Материалы для исследования хромитов месторождения Центральное получены нами при документации и опробовании рудных тел в карьерах и штольнях в период активной его эксплуатации в 2005–2015 гг.

В последние годы необычайно возрос интерес к массиву в целом и хромовым рудам в частности у китайских, японских и др. исследователей (Yang et al., 2015; Arai, Miura, 2016; и др.), желающих в рамках экскурсионных поездок решить все вопросы генезиса уникального объекта. В результате возникают удивительные «карты» массива (Shmelev et al., 2014), на которых появляются новые комплексы пород (например, лерцолитовый), которые сами авторы во время активной работы на массиве (25–30 лет назад) «не заметили».

В XXI веке наш коллектив является единственным, проводившим целенаправленные научные исследования ультрамафитов и хромитов массива Рай-Из. Договорные работы с ОАО ЧЭМК (2007–2015 гг.) позволили нам выполнить детальные работы в пределах Южного и Юго-Западного рудных полей, а также Енгайской площади и др.

С помощью современных технологий (ICP-MS-анализ, микрозондовый, рентгено-структурный и др.) нам удалось существенно расширить достаточно ограниченную опубликованную базу данных составов пород и минералов, что позволило проследить эволюцию вещества ультрамафитов в ходе метаморфической истории массива.

Аналитические работы, результаты которых использованы в настоящей монографии, получены не только в Институте геологии и геохимии УрО РАН, но и в Комплексной лаборатории ОАО «Челябинскгеосъемка», ГЕОХИ РАН, ИМин УрО РАН, ИГХ СО РАН.

Мы благодарим администрацию Института геологии и геохимии за возможность публикации книги, а также руководство ОАО ЧЭМК, в первую очередь бывшего и настоящего начальников Горного управления – Т.Н. Сурина и А.В. Лемешева, а также начальника геологического отдела С.Ю. Пшеничникова, за поддержку наших «специализированных исследований».

Огромную помощь в работе нам оказали Сергей и Алексей Подкорытовы – замечательные геологи-минералоги, равнодушные к объектам, на которые их забросила судьба. Мы счастливы, что в работе с нами участвовали Луиза Андреевна Карстен и Александр Павлович Прямоносков – в обсуждениях и критических замечаниях к нашим результатам и текстам. Мы благодарны нашим коллегам – Виктору Юрьевичу Алимову, Сергею Геннадьевичу Суставову, Наталье Александровне Максимчук и Антону Николаевичу Азанову за работы, проведенные в нашем коллективе. Особая благодарность – нашим пионерам-геофизикам, которые пытались решить очень трудную задачу – разработку дистанционных поисковых методов на хромиты с нашим участием – Вадиму Анатольевичу Давыдову, Андрею Николаевичу Назарову, Ивану Александровичу Угрюмову и Игорю Вильевичу Некрасову.

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ И СТРУКТУРА МАССИВА

Столетняя история геологического изучения ультрабазитового массива Рай-Из позволяет отнести его к уникальным мировым объектам, как в металлогеническом, так и геолого-петрологическом аспектах.

Один из крупнейших на Урале ультраосновной массив Рай-Из открыт в 1913 году Н.А. Куликом. А.Н. Заварицким (1932) дано первое и довольно детальное описание геологического строения массива и его обрамления, отмечено хромовое оруденение, приведены подробные петрографические и минералогические описания пород, рассмотрен метасоматический генезис дунитовых жил в гарцбургитах и широкое распространение метаморфических процессов для ультрамафитового массива в целом.

Массивы Рай-Из и Войкаро-Сынинский расположены в основании корово-мантийного разреза Войкарской палеозойской палеоостроводужной зоны, надвинутой по Главному Уральскому глубинному разлому на край Восточно-Европейского континента (рис. 1).

Площадь выхода ультрамафитов массива Рай-Из составляет около 400 кв. км, при максимальной ширине 16 км и длине – 28 км. Северный контакт массива падает на юг под углом 35–40°, южный – под углом 75–90° (Строение..., 1990).

Массив Рай-Из залегает в участке разворота северо-восточных направлений уральских структур на субширотные. В северной части ультраосновной массив надвинут на среднепалеозойский Лемвинский комплекс, представленный кремнисто-глинистыми, углисто-глинистыми и филлитовидными сланцами и нижнекарбонным граувакковым флишем (Пучков, 1979). Напластование вмещающих толщ срезается под острым углом линией ГУР (Строение..., 1990). Зона надвига, ограничивающая массив Рай-Из с северо-востока и востока, характеризуется развитием мощной зоны меланжа, детально изученной А.Б. Дергуновым, А.П. Казаком и Ю.Е. Молдаванцевым (1975).

На пространственное положение, морфологию и внутреннее строение массива Рай-Из повлияло наличие в краевой части Восточно-Европейского континента Собского поперечного поднятия, включающего террейны глубоко метаморфизованных образований (Хараматолоуский и Харбейский блоки). Эти блоки являлись жесткой преградой при надвигании палеоостроводужной коры в северо-западном направлении, в результате чего массив Рай-Из, упираясь при надвигании в жесткие Хараматолоуский и Харбейский блоки, приобрел субширотное простирание и выпуклую к северу серповидную форму.

Зона Главного Уральского глубинного разлома, также известная в последнее время как зона Главного надвига или Главный сутурный шов, от Войкаро-Сынинского массива проходит вдоль северо-западного края Хараматолоуского блока, сложенного позднепротерозойскими (?) метаморфическими комплексами

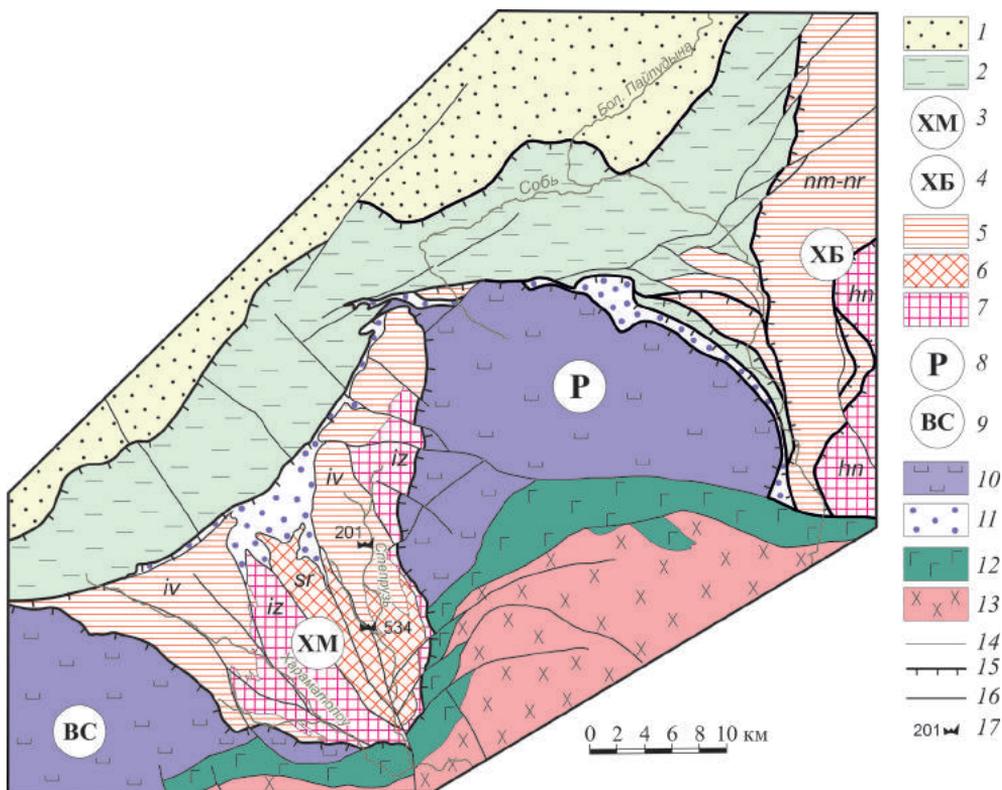


Рис. 1. Схематическая геологическая карта осевой части Полярного Урала.

Составлена на основе геологических карт масштаба 1:200 000 листов Q-41-XII, Q-41-XVII, Q-41-XVIII, выполненных в 2001–2010 гг. (авторы А.П. Прямоносов, А.Е. Степанов, Г.Н. Бороздина и др.).

1 – карбонатно-терригенные образования Елецкой СФЗ; 2 – терригенные образования Лемвинской СФЗ; 3–4 – метаморфические блоки: 3 – Хараматолоуский, 4 – Харбейский; 5–7 – метаморфические комплексы: 5 – зеленосланцевой фации, 6 – эпидот-амфиболитовой фации, 7 – амфиболитовой фации (для Хараматолоуского блока: *iv* – ивтысьшорская свита, *sr* – степрузская свита, *iz* – изьякырьская свита; для Харбейского блока: зеленосланцевая и эпидот-амфиболитовая фации *nm-nr* – немурюганская и няровейская свиты, *hn* – харбейский комплекс, ханмейхойская свита); 8–9 – ультрамафитовые массивы: 8 – Рай-Из, 9 – Войкаро-Сыньинский; 10 – ультрамафиты райизско-войкарского комплекса; 11 – серпентинитовый меланж; 12 – кэршорский дунит-верлит-клинопироксенит-габбровый комплекс; 13 – собский габбро-диоритовый комплекс; 14 – границы разновозрастных образований; 15–16 – разрывные нарушения: 15 – региональные сдвиги-надвиги и сдвиги-взбросы, 16 – сдвиги, сбросо-сдвиги; 17 – пункты обнаружения конодонтов и номера обнажений

ми. Хараматолоуский блок представляет собой клиновидную структуру, «зажатую» между ультрамафитовыми массивами Рай-Из и Войкаро-Сыньинским и сложенную продуктами регионального метаморфизма от зеленосланцевой до амфиболитовой фаций. От терригенных образований Лемвинской структурно-формационной зоны метаморфиты Хараматолоуского блока отделены зоной регионального Хараматолоуского разлома (Волович, Дембовский, 1977; Перфильев, 1968), сопровождающегося тектоническим меланжем и представляющего собой левознаковый сдвиги-надвиг. Геологическое строение Лемвинской зоны, а также зоны меланжа довольно подробно освещены Б.В. Перевозчиковым и В.Н. Пучковым (Строение..., 1990).

Взаимоотношения образований Хараматолоуского блока с ультрамафитами Рай-Изского и Войкарского, кэршорского дунит-верлит-пироксенит-

габбрового и габбро-диоритового Собского комплексов также тектонические по системе сдвиго-взбросов, как правило, левого знака.

В составе Хараматолоуского блока выделяются три свиты: изьякырьюская (R_2), степрузская (R_2) и ивтысьшорская (R_3), выделенные при проведении геологосъемочных работ масштаба 1:50 000 (Кучерина, 1991) и поисковых работ на марганец (Королев, Качанов, 1990).

Изьякырьюская свита (средний рифей?) представлена толщей амфибол-биотитовых гранатосодержащих плагиогнейсов; графитистых двуслюдяных кварцито-сланцев с невыдержанным содержанием графита, иногда гранатосодержащих; гондитов и гондитоподобных пород, амфиболитов. Отмечаются прослой мраморизованных карбонатных гранатосодержащих песчаников. Гранатовыми амфиболитами преимущественно сложен блок в верховьях р. Степрузь. Парагенезис соответствует гранат-амфиболитовой фации. В первичном составе присутствовали, вероятно, пара- и ортопороды.

Степрузская свита (средний рифей?). Разрез сложен переслаивающимися парасланцами с единичными метабазитовыми прослоями. Парасланцы представлены: цоизит-альбит-кварц-биотит-актинолитовыми, альбит-биотит-актинолит-кварцевыми, хлорит-биотит-альбит-кварц-гранатовыми с прослоями гондитоподобных сфен- и апатитсодержащих гранатовых кварцитов; мусковитовыми, биотит-мусковитовыми гранатосодержащими кварцитосланцами; графитистыми сланцами: гранат-биотит-мусковит-кварцитовыми с редкими маломощными прослоями карбонатных мраморизованных метапесчаников. Метабазиты представлены биотит-хлорит-актинолитовыми и хлорит-актинолитовыми сланцами. Парагенезис минералов соответствует эпидот-амфиболитовой фации.

Среднерифейские датировки отложений изьякырьюской и степрузской свит не подтверждены ни палеонтологическими, ни радиоизотопными данными. Разрезы степрузской и изьякырьюской свит практически однотипны и отличаются только уровнем метаморфизма.

Ивтысьшорская свита (верхний рифей). Разрез представлен пара- и ортосланцами. Парасланцы имеют кварц-альбит-хлорит-эпидот-актинолитовый, хлорит-эпидот-кварц-альбитовый состав. В разрезе также отмечаются металевропесчаники актинолит-хлорит-эпидот-кварцевого состава, графитсодержащие хлорит-актинолит-эпидот-кварцевые сланцы; линзы белых, серых и темно-серых графитсодержащих мраморизованных карбонатсодержащих песчаников и мраморов. Установлены также прослой афировых метабазальтов с реликтами миндалекаменной текстуры. Метаморфизм пород не превышает уровня зеленосланцевой фации, причем в ряде случаев, метаморфизм носит явно регрессивный характер, что может свидетельствовать о наличии в разрезе чужеродных фрагментов, ранее метаморфизованных при более высоких давлениях и температуре.

Верхнерифейский возраст ивтысьшорской свиты датирован на основании 2-х находок нитчатых водорослей (Королев, Качанов, 1990) в известняках и известковисто-углеродистых сланцах в западной части Хараматолоуского блока.

При проведении ГДП-200 в районе верхнего–среднего течения р. Степрузь в карбонатных сланцах ивтысьшорской свиты выявлены конодонты рода *Palmatolepis* или *Polygnathus* (верхний девон или девон – карбон соответственно)

(см. рис. 1, обнажение 534, Прямоносов и др., 2000). Южнее, на правом берегу р. Степрузь выше устья руч. Воргашор в хлорит-серицит-альбит-углисто-кварцевых сланцах обнаружены конодонты плохой сохранности, неясной родовой принадлежности (обнажение 201, Прямоносов и др., 2000). Это дало основание выделить из состава ивтысьшорской свиты устьворгашорскую толщу (D_3), по характеру разреза и уровню метаморфизма идентичную образованиям ивтысьшорской свиты.

Расчленение единого разреза на ивтысьшорскую свиту и устьворгашорскую толщу представляется весьма натянутым и малообоснованным. В сходном с разрезом устьворгашорской толщи литокомплексе ивтысьшорской свиты в районе г. Нангытеган и руч. Еджидшор, в известняках и известковисто-графитоидных сланцах обнаружены нитчатые водоросли *Tortunemasibirica* Herm., *Leiosphaeridiaminutissima* (Naum.) Jank., *Leiotrichoidestipicus* Herm., *Oscillatoriaceae* (Кучерина, 1991), по которым датированы верхи каратауского уровня верхнего рифея. Первые две формы датируют низы верхнего венда, а *Leiotrichoidestipicus* – нижний венд. Данные микрофоссилии являются проходящими формами и их находки могут свидетельствовать только о том, что возраст содержащих их пород – не древнее верхнего рифея.

Тем не менее, образования, которыми сложен Хараматолоуский блок, **не могут** представлять собой единый рифейский вулканогенно-терригенный разрез, отдельные блоки которого отличаются только степенью метаморфизма, как это предполагалось ранее и для других метаморфических комплексов Урала. Возраст отдельных фрагментов разреза, судя по единичным находкам конодонтов, явно палеозойский (верхнедевонско-каменноугольный), в то время как в других найдена допалеозойская фауна. Возраст метаморфизма (возможно участками зонального, что угадывается по отдельным незатронутым тектоникой фрагментам разреза) вероятно, связан с тектонической и магматической активностью в зоне ГУР и соответствует палеозойским событиям в этой зоне. Все эти вопросы требуют дальнейшего уточнения.

С восточной стороны массива Рай-Из расположен Харбейский метаморфический комплекс (блок). Существует точка зрения, что Харбейский блок, так же как и Хараматолоуский, представляли собой жесткие (протерозойские – нижнепалеозойские?) структуры на пути надвигавшихся пластин палеозойских офиолитовых комплексов.

Раннепротерозойский (?) Харбейский блок сложен гранатовыми амфиболитами, амфиболитами (ханмейхойская свита PR_1), гранатсодержащими парagneйсами (париквасьшорская свита PR_1). Его обрамление представлено парagneйсами, амфибол-эпидот-альбитовыми, мусковит-кварц-альбитовыми сланцами, в том числе графитсодержащими сланцами няровейской свиты среднего рифея и зелеными сланцами, кварцитосланцами, мраморами немурюганской свиты верхнего рифея.

Вдоль южной границы по зоне крутопадающего Габбрового надвига на ультраосновной массив Рай-Из надвинуты офиолитовые образования дунит-верлит-клинопироксенит-габбрового кэршорского комплекса (Строение..., 1990), представленные в основном милонитизированными тонко полосчатыми габброидами, которые южнее сменяются очково-роговообманковыми разгнеиванными апогаббровыми амфиболитами. В западной и восточной частях южной границы массива Рай-Из между ультрамафитами и габброидами в соста-

ве кэршорского комплекса картируется дунит-верлит-клинопироксенитовый «полосчатый комплекс».

По данным Д.Н. Ремизова и др. (2010) изотопный возраст габброидов кэршорского комплекса Войкаро-Сыньинского массива, определенный по цирконам, составил 446–454 млн лет, что соответствует позднему ордовику.

Метагабброиды кэршорского комплекса массива Рай-Из к югу сменяются островодужным позднесилурийским Собским габбро-диорит-тоналитовым комплексом. Строение Собского комплекса, выделенного Ю.Е. Молдавцевым (1960, 1963), детально исследовано и отражено в работах Р.Г. Язевой, В.В. Бочкарева (1984), О.В. Удоратиной (2007), Н.Б. Кузнецова (2014) и др., относящих их к островодужным образованиям.

Габброиды южного контакта массива Рай-Из, традиционно трактуемые большинством исследователей как часть офиолитового разреза (см. рис. 1, 2), В.Р. Шмелевым (Шмелев, Мон, 2013) подразделены на две различные ас-

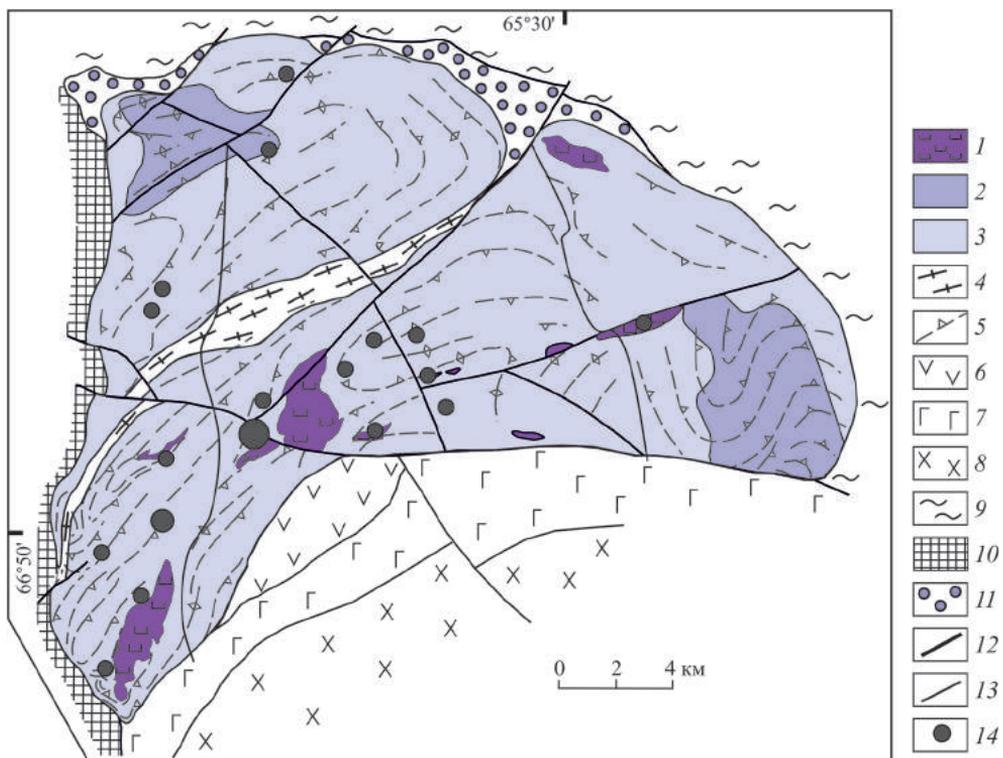


Рис. 2. Геологическая схема массива Рай-Из.

По данным Б.В. Перевозчикова, В.Р. Шмелева (Строение..., 1990); Государственной геологической карте масштаба 1:200 000 (А.М. Прямонов, А.Е. Степанов и др., 2001); данным Н.В. Вахрушевой и др. (2009, 2012). 1–3 – райзиско-войкарский дунит-гарбуртитовый комплекс: 1 – дуниты, 2 – гарбуртиты, 3 – нерасчлененный дунит-гарбуртитовый комплекс; 4 – Центральная зона метаморфизма; 5 – полосчатость и направление ее падения; 6–7 – кэршорский дунит-верлит-клинопироксенит-габбровый комплекс: 6 – нерасчлененные дуниты, верлиты, клинопироксениты, 7 – габбро; 8 – плагиограниты и тоналиты собского комплекса; 9 – филлитовидные сланцы нижнего палеозоя (орангская свита); 10 – кристаллические сланцы и гнейсы хараматалусского комплекса; 11 – зоны серпентинитового меланжа; 12–13 – разрывные нарушения: 12 – 1-го порядка, 13 – 2-го порядка; 14 – месторождения и рудопроявления хромитов

социации – офиолитовую и постофиолитовую, слагающие так называемые фронтальную область (непосредственно примыкающую к породам дунит-гарцбургитового комплекса), сложенную дунитами, верлитами, клинопироксенитами и метабазитами, и тыловую – расположенную южнее, образующую широкую кайму метабазитов вокруг плагιοгранитоидов Собского комплекса. Метабазиты тыловой области В.Р. Шмелевым трактуются как островодужные, сопоставимые с базитами Платиноносного пояса Урала.

Изотопный возраст пород Собского комплекса, определенный в 1980 году М.И. Буякайте (Буякайте и др., 1983) составил 400 ± 10 млн лет (Rb-Sr изохрона) и подтвержден более поздними исследованиями (Андреичев, Удоратина, 2000). Изотопный возраст метабазитов, полученный для «тыловой» области В.Р. Шмелевым по цирконам составил 418 ± 2 млн лет, что больше похоже на возраст офиолитовых базитов.

На наш взгляд, отнесение габброидов, прослеживающихся как вдоль массива Рай-Из, так и дальше на юг вдоль Войкаро-Сыньинского массива, к платиноносной формации, недостаточно аргументировано. Несомненно, исследование габброидов южного контакта массива Рай-Из, как и пород кэршорского комплекса, требует продолжения.

Строение и морфология ультраосновного массива по геофизическим данным детально изучены И.Ф. Тавриным (Строение..., 1990). В результате интерпретации гравиметрических и магнитных измерений им установлено, что массив состоит из двух больших блоков, северного и южного. На границе этих блоков, проходящей по р. Левая Макар-Рузь, отмечаются выходы пород Центральной зоны метаморфизма. По данным Н.Г. Берлянд (1981) под массивом происходит резкое, почти вертикальное поднятие поверхности "базальтового" слоя, расположенной на глубине 4–6 км.

Северный блок в разрезе напоминает остроугольный треугольник, обращенный острой вершиной на северо-запад, с максимальной мощностью в южной части 1,5 км. Южный блок в разрезе напоминает параллелограмм, северная и южная границы которого падают на юг. Вертикальная мощность этого блока увеличивается с запада на восток с 3,5 до 5 км. В восточной части массива зафиксирована наиболее интенсивная аномалия гравитационного поля. На всех гравитационных профилях ультрамафитовый массив прослеживается к югу под вмещающими габброидами на расстояние до 5 км, погружаясь под небольшими углами падений. Крутое падение контакта ультрамафитов и габброидов с поверхности и пологое падение с глубиной позволяют предположить, что на формирование контакта оказала влияние система ступенеобразных взбросов.

Граница между основными блоками массива характеризуется локальной отрицательной аномалией в гравитационном поле и интенсивным максимумом (до 1000 гамм) – в магнитном. В центральной части зоны метаморфизма встречаются отдельные тела плагноклазовых, эпидот-гранатовых амфиболитов мощностью до 80–100 м, которые могут рассматриваться как выступы пород основания массива (Строение..., 1990).

Таким образом, по геофизическим данным ультрамафитовый массив Рай-Из представляет собой клиновидное бескорневое тело, надвинутое на протерозойское (?) основание края платформы и палеозойские комплексы пассивной окраины континента.

Породы дунит-гарцбургитового комплекса разделены Б.В. Перевозчиковым (Строение..., 1990) по характеру взаимоотношений входящих в него гарцбургитов и дунитов на четыре подкомплекса, образующие соответствующие зоны в пределах массива Рай-Из: 1) гарцбургитов, 2) гарцбургитов с сетчато-жилыми выделениями дунитов, 3) гарцбургитов со шлирово-полосчатыми выделениями дунитов, 4) крупных дунитовых тел.

В результате анализа особенностей внутреннего строения массива Рай-Из В.Р. Шмелевым и В.Н. Пучковым (Строение..., 1990) сделаны выводы о существовании в ультрамафитах массива двух структурных планов: раннего, представленного син-, антиформными структурами с пологоориентированными шарнирами, и позднего, картируемого как крупная складчатая мегаструктура субвертикальной ориентировки, наложенная на раннюю систему складок.

По данным В.Р. Шмелева и В.Н. Пучкова (Строение..., 1990) на массиве Рай-Из прослеживаются пять этапов деформаций:

Д1 – образование первичной планпараллельной полосчатости; возникает микроструктура протогранулярного типа, фиксирующая относительно невысокие скорости деформации и повышенные температуры; происходит установление равновесной минеральной ассоциации: оливин+энстатит+хромшпинелид+клинопироксен; на этом же этапе происходит формирование изоклинальных складок, широко распространенных в пределах Кэрдоменшорской и Верхнесобской структур.

Д2 – соответствует первому изменению геодинамического режима, характеризующемуся пластической складчатой деформацией. На этом этапе формируются син- и антиформные складчатые структуры (Кэрдоменшорская, Верхнесобская, Леквожская, Конгорская), образующие первоначально единую систему складок. Деформация Д2 осуществлялась в высокотемпературном режиме при относительно невысокой скорости деформации. С этапом Д2 связано формирование жильного комплекса, который размещается в наиболее напряженных участках структур.

Д3 – соответствует подъему на субкоровый уровень, приводит к коренной перестройке структурных и вещественных парагенезисов. Этот этап обуславливает не только возникновение новых структурных форм (складок, зон течения), но и динамометаморфической зональности. По мнению В.Н. Пучкова (Строение..., 1990), а также и по результатам наших исследований, образование структурно-вещественных комплексов гарцбургитов с сетчато-жилыми выделениями дунитов, гарцбургитов со шлирово-полосчатыми выделениями дунитов, а также крупных дунитовых тел и наиболее крупных хромитовых концентраций было связано с новой динамической перестройкой на третьем этапе. Условия этапа Д3 определялись меньшими температурами и более высокой скоростью деформации, увеличением стрессовых давлений; важное значение приобретает синтектоническая рекристаллизация. Завершается этот этап высокотемпературным автопорфиобластезом. Релаксация стрессовых напряжений при существующих довольно высоких температурах приводит к обстановке высокотемпературного отжига, который реализуется как процесс автопорфиобластеза с образованием полосы «вторичных», идиобластовых, гарцбургитов (энстатит-оливиновых пород).

Д4 – совпадает с новым периодом тектонической активизации, связанным с эволюцией ультрамафитов на коровом уровне. Происходит формирование

южной и северной зон течения, имеющих субширотную ориентировку. Характерные признаки – мелкая (субизоклиальная) складчатость, гофрировка, тонкое разгнейсование (рассланцевание). Процессы течения («мокрый» динамометаморфизм) вначале тяготели к южной части массива и сопровождались образованием амфибол-оливиновых, амфибол-гальк-оливиновых парагенезисов, а затем сместились в северную часть массива, где формировались оливин-антигоритовые (войкаритовые) сланцы. С этим же этапом связывается (Строение..., 1990) формирование зоны глубинного разлома в осевой части центральной линейной зоны течения и синхронной метасоматической переработки ультрамафитов с образованием сагвандитов, слюдистых метасоматитов и пр.; здесь преобладает течение на уровне милонитизации и катаклаза. С этим этапом связаны процессы петельчатой серпентинизации.

Д5 – завершающий этап становления массива, характеризующийся трещинно-блоковой тектоникой, образованием серпентинитов в краевых частях массива (вдоль его современных контактов) и формированием северной зоны меланжа в подошве главного надвига (Строение..., 1990).

Этапность деформаций и геологических событий подтверждена нашими геолого-петрографическими и минералогическими исследованиями.

По соотношению дунитов и гарцбургитов в строении дунит-гарцбургитового комплекса массива Рай-Из Б.В. Перевозчиковым выделены четыре структурно-вещественных подкомплекса: 1) гарцбургитов, 2) гарцбургитов с сетчато-жильными выделениями дунитов, 3) гарцбургитов со шпирово-полосчатыми выделениями дунитов, 4) крупных дунитовых тел (Строение..., 1990).

Сложная метаморфическая история ультрамафитов массива впервые отражена в монографии А.Н. Заварицкого (1932). Зональный метаморфизм ультрамафитов был выделен и описан Г.Л. Кашинцевым, И.Е. Кузнецовым и Г.Б. Рудником (1971, 1974), оливин-антигоритовые породы – А.П. Казаком и Ю.Е. Молдавцевым (Петрология..., 1977). Метаморфическая зональность массива Рай-Из также освещалась в работах И.С. Чашухина, В.Р. Шмелева (1981, 2011), Б.В. Перевозчикова (Строение..., 1990).

В.Н. Пучковым, в заключении к монографии «Строение, эволюция и минерализация гипербазитового массива Рай-Из» (1990) удивительным образом увязана геодинамическая, геологическая и метаморфическая история ультрамафитов массива, которая, с некоторыми уточнениями, находит подтверждение в наших результатах исследования ультраосновных пород массива Рай-Из.

Для удобства изложения, территория массива разделена на блоки: Восточный, Южный, Юго-Западный и Северный (рис. 3).

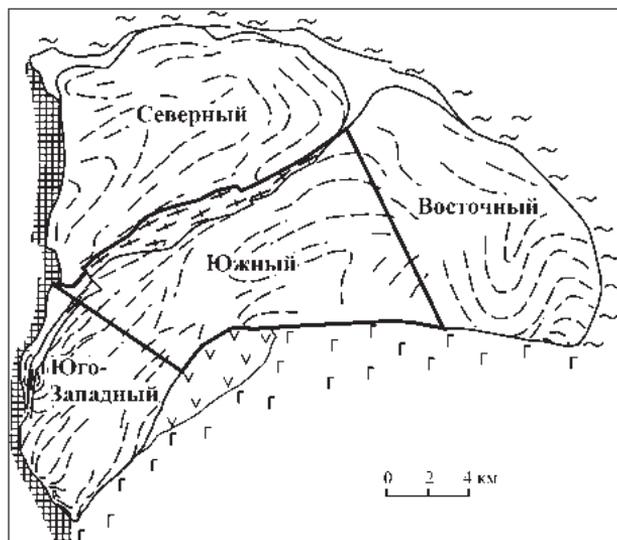


Рис. 3. Схематическое разделение массива Рай-Из на блоки

2.1. Восточный блок

Территория этого блока расположена к востоку от ручья Кердомен-Шор, ограничиваясь с севера, востока и юга тектоническими контактами с вмещающими ультрамафитовыми комплексами. Значительная часть ультрамафитов Восточного блока относится к подкомплексам гарцбургитов и гарцбургитов с сетчато-жильными выделениями дунитов. В северной части блока отмечается локальное развитие шлирово-полосчатого дунит-гарцбургитового комплекса, вмещающего дунитовое тело, видимой мощностью около 600 метров, прослеженное в коренных выходах на правом берегу ручья Нырдовомен-Шор. Второе дунитовое тело обнажается в левом борту ручья Кердомен-Шор и вмещает рудопроявление Каньонное (см. ниже).

Гарцбургитовый подкомплекс, выделенный Б.В. Перевозчиковым (Строе-ние..., 1990), развит в юго-восточной части блока и представлен гарцбургитами с небольшим количеством маломощных жил и обособлений дунитов и пироксенитов.

Подкомплекс гарцбургитов с сетчато-жильными выделениями дунитов распространен в районе ручья Кердомен-Шор в виде поля шириной 4,5 км непосредственно к западу от подкомплекса гарцбургитов. Основное отличие от зоны гарцбургитов заключается в увеличении количества и мощности дунитовых жил, секущих полосчатость в гарцбургитах в различных направлениях. Границы жил дунитов с гарцбургитами резкие. Гарцбургиты в западной части блока полностью метаморфизованы с образованием тальк-амфибол-оливиновых пород (см. ниже) и содержат около 25–30% нормативного пироксена. Количество дунитовой составляющей не превышает в разрезе 10–20%. В отличие от зоны гарцбургитов, в подкомплексе гарцбургитов с сетчато-жильными выделениями дунитов резко уменьшается количество жил клинопироксенитов.

Пересечение в восточной части блока по ручью Безымянному пройдено с севера на юг. Непосредственно в области северного эндоконтакта ультраосновного массива развиты антигоритовые серпентиниты, нередко рассланцованные и интенсивно деформированные. Северная часть разреза представлена амфибол-оливин-антигоритовыми и амфибол-оливиновыми породами с проявленной полосчатостью. Амфибол-оливин-антигоритовые породы вмещают жилы и небольшие тела дунитов и амфибол-оливиновых пород, как согласных, так и секущих полосчатость. Азимут простирания полосчатости 220° , падение на северо-запад под углом 65° . Для амфибол-оливин-антигоритовых и амфибол-оливиновых пород характерна директивная текстура. Антигоритизация фиксирует зону субширотного разлома и затухает на расстоянии 100–120 м от тектонической зоны.

К югу амфибол-оливин-антигоритовые породы сменяются амфиболизированными оталькованными гарцбургитами. Структура амфиболизированных гарцбургитов порфирукластическая; по энстатиту, а также и по оливину, развиваются амфибол и тальк.

В амфиболизированных оталькованных гарцбургитах развиты те же, что и в амфибол-оливин-антигоритовых породах жилы дунитов, секущие полосчатость (азимут простирания жил 330° , падение на запад под углом 75°). Кроме того, в амфиболизированных гарцбургитах встречаются прожилки амфи-

боловых и хлорит-амфиболовых пород, мелкозернистых, также секущих полосчатость в гарцбургитах. Мощность прожилков от 10 до 40 см. Наблюдаются серии параллельных прожилков амфиболовых пород, имеющих азимут простирания 180° и располагающихся под очень малым углом к полосчатости в гарцбургитах (азимут простирания полосчатости 170° , падение на запад под углом 65°).

Среди амфиболизированных и оталькованных гарцбургитов сохраняются блоки слабо серпентинизированных гарцбургитов, вмещающих единичные маломощные (до 2–3 см) извилистые прожилки клинопироксенитов.

Постепенно к югу амфиболизация и оталькование в гарцбургитах затухают. Продолжаются гарцбургиты с порфирокластической структурой и полосчатой текстурой. Содержание ортопироксена в гарцбургите – 20–25%. Дуниты в виде сетки жил, в количестве 10–15%. При микроскопическом исследовании вокруг порфирокластов энстатита, размером 1–5 мм, отмечаются необласты энстатита и диопсида до 0,2–0,5 мм в поперечнике. Хромовая шпинель под микроскопом в проходящем свете коричневая, ксеноморфная, большей частью в сростании с пироксеном (рис. 4). В дуните шпинелид по цвету такой же, как и в гарцбургите, но форма чаще идиоморфная или округлая. В обоих случаях окраска зерен светлеет к краям (см. главу 3).

По направлению к югу полосчатость в гарцбургитах исчезает; дуниты приобретают форму шлиров и небольших линз. В массивных гарцбургитах наблюдаются интервалы деформированных пород, которые представляют собой амфиболизированные, иногда оталькованные, гарцбургиты. Мощность таких интервалов, как правило, не превышает 10–30 метров. Амфибол представлен идиоморфными зернами тремолита, развивающимися по энстатиту (см. фото шлифа – рис. 5). Хромовая шпинель замещается хлоритом и хроммагнетитом; в оливине проявляются линейные зоны рекристаллизации.

Далее к югу гарцбургиты сменяются амфиболизированными и оталькованными гарцбургитами. В полосе развития амфиболизированных гарцбургитов встречены два небольших тела, мощностью до 20–25 метров, представляющие собой массивные слабоизмененные гарцбургиты с единичными жилами и шлирами дунитов.

Далее к югу амфиболизированные гарцбургиты постепенно сменяются хлорит-талк-амфибол-оливиновыми породами, которые продолжают вплоть до южного эндоконтакта ультрамафитов. Хлорит-талк-амфибол-оливиновые породы в разной степени деформированы, до рассланцевания.

Пересечение по руч. Нырдовомен-Шор–Кердовомен-Шор с севера на юг пройдено от северного эндоконтакта массива до южного. В северном эндоконтакте массива обнажаются антигоритовые серпентиниты и оливин-антигоритовые интенсивно рассланцованные породы (войкаритовые сланцы), вмещающие небольшие тела пегматоидных, слабо серпентинизированных дунитов. Рассланцованные породы по направлению от контакта к югу сменяются массивными оливин-антигоритовыми породами. В антигоритизированных дунитах отмечается развитие брусит-магнетитового агрегата. В оливине из оливин-антигоритовых пород и дунитов под микроскопом устанавливаются следы деформаций в виде блочного угасания и деформационных двойников. Антигорит чаще имеет чешуйчатую и гребенчатую морфологию.

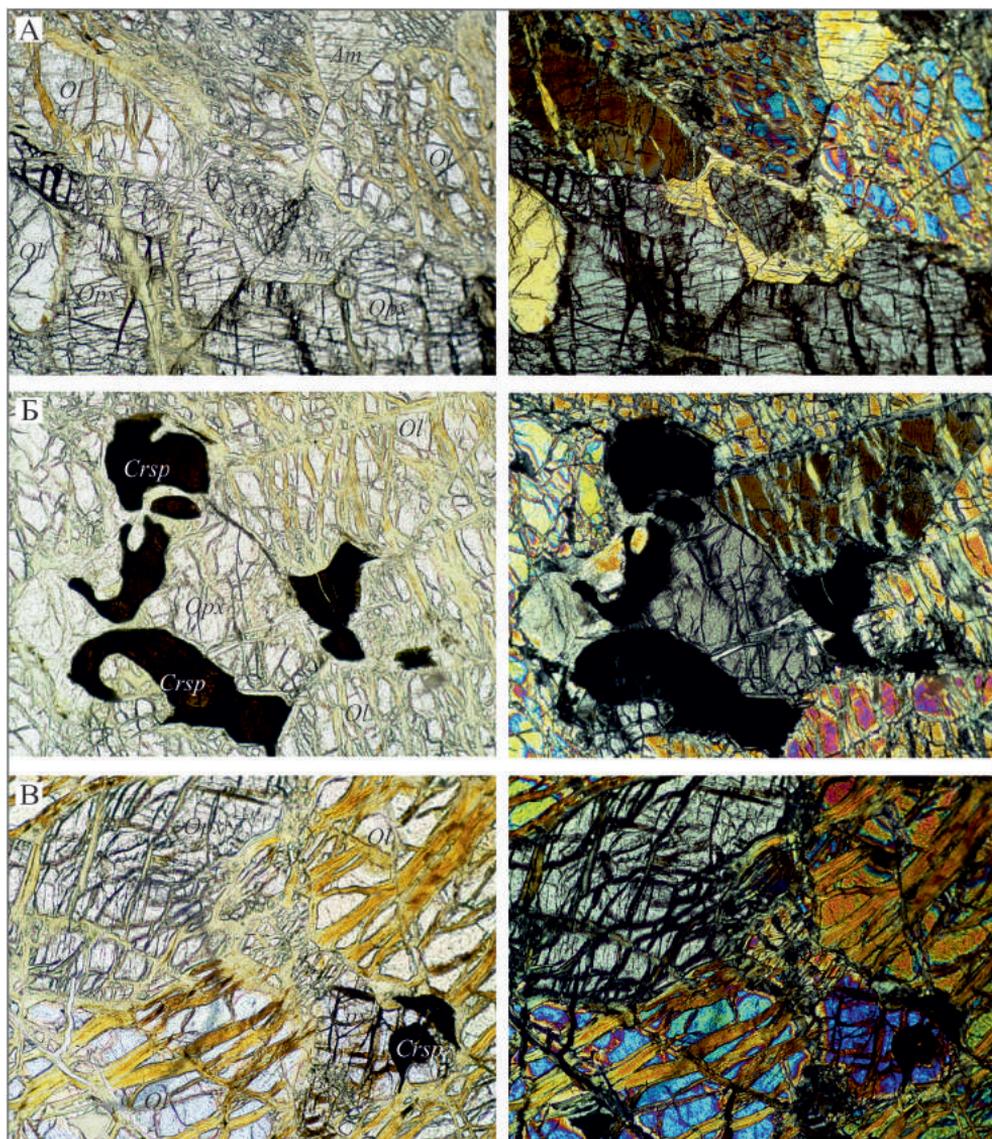


Рис. 4. Гарцбургиты; руч. Безымянный (восточная часть массива Рай-Из).

Слева – без анализатора, справа – с анализатором. Увеличение 100 \times (1 мм по ширине кадра). А – развитие амфиболов по энстатиту, Б – срастание хромовой шпинели с энстатитом, В – срастание диопсида с хромовой шпинелью.

Ol – оливин, *Opx* – энстатит, *Crsp* – диопсид, *Crsp* – хромовая шпинель, *Am* – амфибол

Полоса оливин-антигоритовых пород составляет по мощности около 1 км, сменяясь к югу локальной зоной развития амфибол-энстатит-оливиновых пород, располагающихся на простирации Центральной зоны метаморфизма. Структура амфибол-энстатит-оливиновой породы пойкилобластовая. Энстатит, также как и оливин, деформирован. По амфибол-энстатит-оливиновым породам развивается явно более поздний парагенезис амфибол+талек (рис. 6).

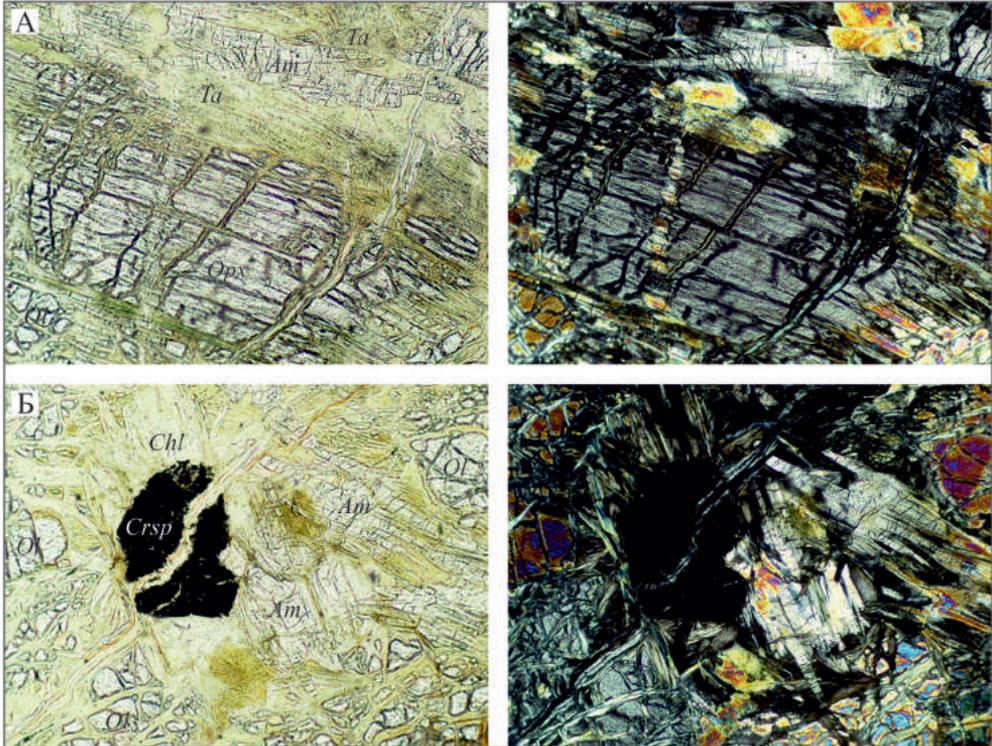


Рис. 5. Гарцбургит амфиболизированный, оталькованный; руч. Безымянный (восточная часть массива Рай-Из).

А – развитие амфибола и талька по энстатиту, Б – замещение хромовой шпинели хлорит-хроммагнетитовым агрегатом.
 Слева – без анализатора, справа – с анализатором. Увеличение 100 \times (1 мм по ширине кадра).
Ol – оливин, *Opz* – энстатит, *Crsp* – хромовая шпинель, *Am* – амфибол, *Chl* – хлорит, *Ta* – тальк

Агрегат зерен амфибола и талька замещает более ранний амфибол и энстатит, что хорошо видно в шлифах. Часто в породе энстатит встречается либо в виде реликтов в амфибол-тальковом агрегате, либо отсутствует, вследствие полного замещения. Амфибол как первой, так и второй генерации идиоморфен, размер зерен от 0,3–0,5 до 2 мм. В породах присутствует существенная примесь клинохлора, представленного ориентированными лейстами, развитыми по границам зерен оливина. Оливин отчетливо двух генераций – среди крупных зерен (1–5 мм в поперечнике) отмечаются зонки рекристаллизованного оливина, имеющего размер 0,2–0,4 мм и менее.

Дуниты, ассоциирующие с оталькованными амфибол-энстатит-оливиновыми породами крупнозернистые, нередко пегматоидные; встречаются в виде отдельных тел и жил, как согласных, так и секущих полосчатость в амфибол-энстатит-оливиновых породах. Количество дунитовой составляющей варьирует от 10 до 30%. Мощность зоны амфибол-энстатит-оливиновых пород около 750 метров. К югу они сменяются амфибол-оливиновыми и тальк-амфибол-оливиновыми породами, которые слагают полосу, мощностью 2,0–2,2 км. Тальк-амфибол-оливиновые породы представляют собой оталькованные

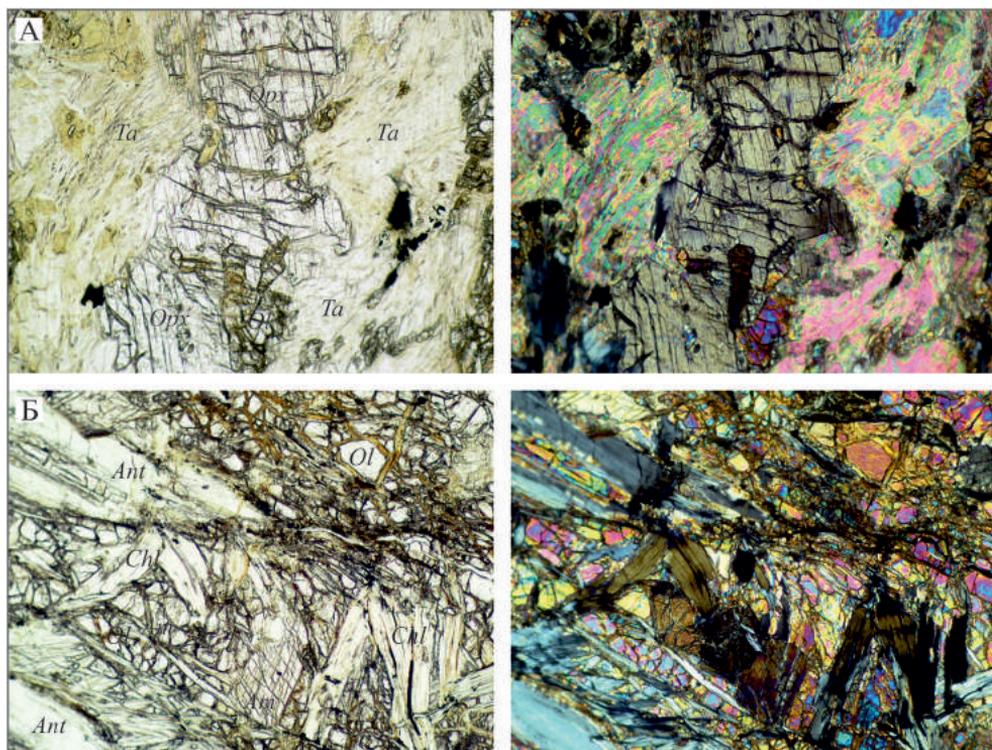


Рис. 6. Развитие хлорит-талк-амфибол-оливиновой породы по амфибол-энстатит-оливиновой; руч. Нырдовомен-Шор (северо-восточная часть массива Рай-Из).

А – развитие талька и амфибола по энстатиту, Б – замещение оливина хлорит-амфиболовым агрегатом. Слева – без анализатора; справа – с анализатором. Увеличение 100^х (1 мм по ширине кадра).
Ol – оливин, *Opx* – энстатит, *Ant* – антигорит, *Am* – амфибол, *Chl* – хлорит, *Ta* – тальк

амфибол-энстатит-оливиновые и амфибол-оливиновые породы с двумя генерациями амфибола. Оталькование и амфиболизация проявлены неравномерно, сопровождая зоны рассланцевания в более ранних метасульфидитах.

Далее к югу в тальк-амфибол-оливиновых породах появляется антигорит, чаще микрочешуйчатой, реже пластинчатой морфологии. Антигоритизация проявляется в виде локальных зон, фиксирующих тектонические нарушения.

После разломной зоны в левом борту ручья Кердовомен-Шор обнажается тело дунит-пегматитов, видимая мощность которого составляет 110 метров. В стенках каровых берегов левого притока ручья Кердовомен-Шор наблюдаются выходы деформированных прожилков хромовых руд (рис. 7) рудопроявления Каньонное. Мощность отдельных рудных прожилков составляет 20–30 см; мощность рудной зоны в дунит-пегматите не превышает 5 метров.

Далее по разрезу, около 1,6 км от начала зоны амфибол-антигорит-оливиновых пород, степень оталькования возрастает. Полоса, мощностью около 1,2 км представлена тальк-амфибол-оливиновыми породами с амфиболом двух генераций и участками рекристаллизации оливина (рис. 8). Тальк-амфибол-



Рис. 7. Т.н. Е-802. Прожилки хромитита в дунит-пегматитах. Рудопроявление Каньонное; левый берег руч. Кердоманшор

оливиновые породы сменяются амфибол-антигорит-оливиновыми без талька (мощность полосы около 700 метров), после которых вновь отмечается полоса тальк-амфибол-оливиновых пород с прожилками оливин-амфиболовых, количество амфибола в которых варьирует от 50 до 100%.

Тальк-амфибол-оливиновые породы с телами и секущими жилами дунитов, в количестве не более 10–20%, продолжают вплоть до южного эндоконтакта массива. Непосредственно вблизи контакта обнажаются рассланцованные антигоритовые серпентиниты с телами и жилами существенно амфиболовых и амфибол-хлоритовых пород.

В западной части Восточного блока реликтов гарцбургита с сохранившимся ортопироксеном, не встречено.

2.2. Южный блок

Южный блок расположен к западу от ручья Кердомен-Шор, к востоку от р. Макар-Рузь, к югу от руч. Левая Макар-Рузь. Он вмещает самое крупное на массиве Рай-Из месторождение хромовых руд Центральное, а также многочисленные рудопроявления – Центральное-2, Полойшорские, Рыбий Хвост, Енгайские и т.д.

Восточная часть Южного блока, примыкающая к Восточному блоку, исследовалась нами детально в ходе поисковых работ на хромиты в пределах Енгайской площади, расположенной в междуречье ручьев Полойшор и Кердомен-Шор.

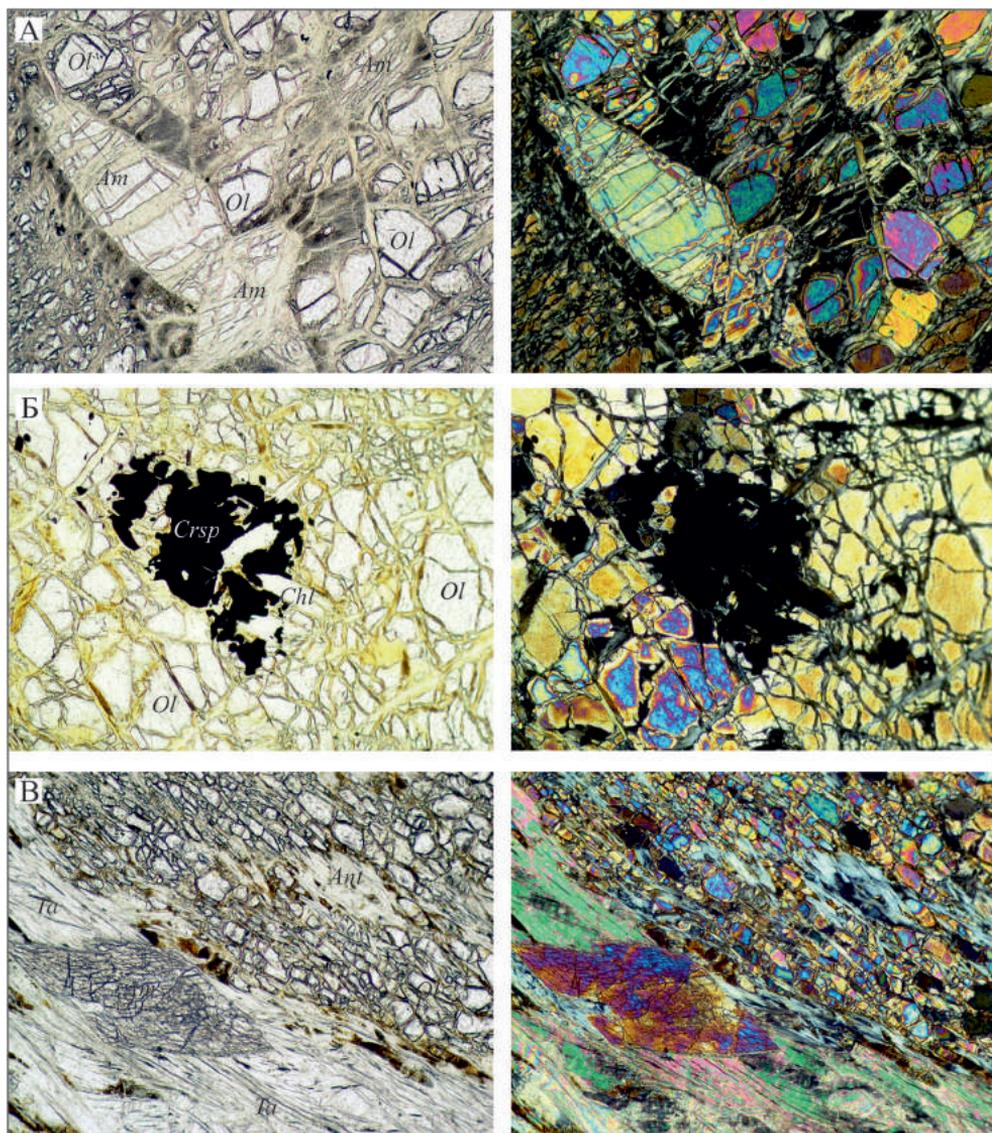


Рис. 8. Амфибол-оливиновая (А, Б) и тальк-амфибол-оливиновая порода (В); руч. Кердомен-Шор (северо-восточная часть массива Рай-Из).

А – идиобласты амфибола в агрегате рекристаллизованного оливина, Б – хроммагнетит-хлоритовое срастание. Слева – без анализатора, справа – с анализатором. Увеличение 100^x (1 мм по ширине кадра).

Ol – оливин, *Am* – амфибол, *Ta* – тальк, *Crsp* – хромовая шпинель, *Ant* – антигорит, *Chl* – хлорит

В пределах восточной части Южного блока (Енгайская площадь), локализованы рудопроявления Енгайское, Енгайское-2, Енгайское-3, Хребтовое/Среднеенгайское и Енгайское-4.

Северо-восточная часть Енгайской площади (левобережье р. Енга-Ю) представляет собой зону оталькованного шлирово-полосчатого дунит-гарцбургги-

тового комплекса с содержанием дунитов в разрезе не более 20–30%. Гарцбургиты полностью превращены в тальк-амфиболовые, тальк-амфибол-оливиновые породы. Дуниты согласные с директивностью тальк-амфибол-оливиновых пород, как правило, также подверглись оталькованию (рис. 9). При этом в тальк-оливиновых породах также наблюдаются секущие дунитовые жилы без талька с сегрегациями хромовой шпинели в центре жилы (рис. 9 А).

Тело дунит-пегматитов, вмещающее р.п. Верхнеенгайское (верховья р. Енга-Ю и к востоку от ее долины – на крутом водоразделе) прослежено по простиранию на 1170 м при видимой мощности 40–65 метров. Азимут простирания дунитов 60–72°, падение контактов на юго-восток. В дунит-пегматитах проявлены линейные субширотные зоны деформаций, к которым тяготеют пачки убоговкрапленных полосчатых руд.

Относительно небольшие дунитовые тела, как правило, уплощенно-линзовидной формы, также представлены дунит-пегматитами с хлоритом, амфиболом, тальком, развитым по линейным зонам деформаций. Простирание дунитовых тел северо-восточное (азимут простирания 220–230°), согласное с директивностью и рассланцеванием пород дунит-гарцбургитового комплекса.

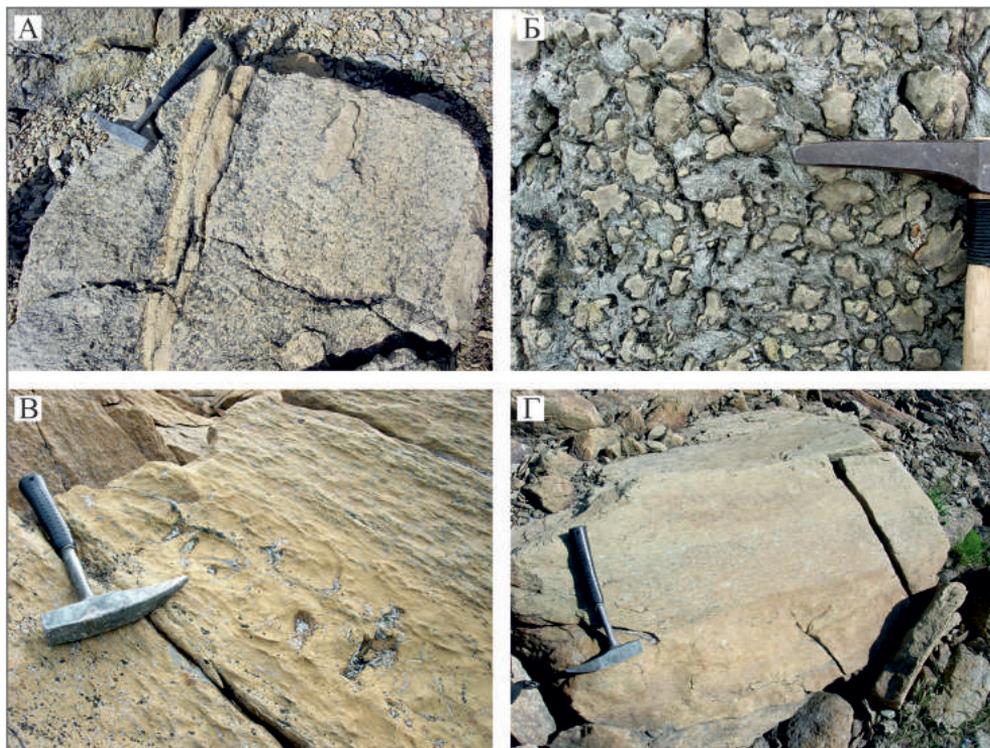


Рис. 9. Амфибол-тальк-оливиновые породы и ассоциирующие с ними дуниты Енгайской площади.

А – дунитовая жила с сегрегациями хромшпинелида в амфибол-тальк-оливиновой породе, Б – тальк-оливиновая брекчия, В – дунит с амфиболом и тальком в тальк-амфибол-оливиновой породе, Г – тальк-амфибол-оливиновая порода директивной текстуры с согласной жилой дунита

В дунитах встречаются струйки, прожилки и пачки убого-редковкрапленных хромитов небольшой мощности (от первых см до 30–40 см).

На левом берегу р. Енга-Ю, в верхней части склона, к востоку от рудопроявления Енгайское-4, нами встречены элювиальные глыбы сагвандитов (рис. 10). Сагвандиты фиксируют Центральную зону метаморфизма массива Рай-Из, протягивающуюся от долины р. Левая Макара-Рузь к верховьям р. Енга-Ю. На правом берегу р. Енга-Ю сагвандиты встречены в коренных выходах существенно выше по течению. По субмеридиональному разлому (р. Енга-Ю), предположительно произошло смещение восточного блока в южном направлении после формирования Центральной зоны метаморфизма. Сагвандиты маркируют амплитуду смещения.

Южнее, в пределах рудопроявления Енгайское-3, в осевой части зоны оталькования, имеющей субширотное простирание (азимут простирания 105–115°) прослеживаются в коренных выходах породы амфибол-тальк-оливинового состава брекчиевидной текстуры (рис. 9Б): зерна оливина, размером 2–3 см, «цементированы» амфибол-тальковым агрегатом. Форма оливиновых катакластов различна – от овоидной до неправильной, угловатой. Эти тальк-оливиновые брекчии фиксируют тектоническую зону, прерывистой полосой протягивающуюся от левого берега реки Енга-Ю до правого берега ручья Иашор.

Также как и в западной части Енгайской площади (междуречье руч. Полойшор и р. Енга-Ю), к югу метаморфизованный дунит-гарцбургитовый комплекс сменяется дунитовым телом, вмещающим серию небольших рудопроявлений хромовых руд (см. главу 5). Дуниты неоднородны, что связано с интенсивными деформациями и развитием по тектоническим зонам амфибола, талька, хлорита. Мощность дунитового блока варьирует от 40–50 до 120–145 метров. При этом внутри дунитов фиксируются зоны, шпирь, полосы апогарцбургитового состава. Все контакты дунитов с апогарцбургитовыми метаморфитами,

как с юга, так и с севера – тектонические с падением на юг, юго-восток, юго-запад. В южном контакте дунитов и апогарцбургитов углы падения варьируют от 80 до 45–50°.



Рис. 10. Сагвандит. Верховья р. Енга-Ю, левый борт. Радиальнолучистый энстатит в магнетит-оливиновом агрегате

К югу от дунитового тела породы метаморфизованного дунит-гарцбургитового комплекса отличаются устойчивой повышенной вкрапленностью хромшпинелида. По гарцбургитам развиты амфибол-оливиновые породы, средне-крупнозернистой структуры, директивные. Директивность определяется ориентировкой довольно крупных (до 3–4 мм) зерен хромшпинелида. В шлифе морфология хромшпинелида свидетельствует о собирательной перекристаллизации минерала: крупные зерна представляют собой агрегат мелких кристаллов.

Дунит-пегматиты, представляя собой серию тектонических блоков, протягиваются субширотной полосой через всю Енгайскую площадь и, возможно, далее на восток.

В каровых врезях ручья Иашор (юго-восточная часть Южного блока) на правом берегу обнажаются апогарцбургитовые амфибол-оливиновые породы с невысоким количеством дунитовой составляющей (до 20%); дуниты – в виде согласных с расщеплением жил и небольших обособлений. В породах интенсивно проявлена трещиноватость, нередко по трем направлениям, с образованием параллелепипедальной отдельности.

В скальных выходах по левому берегу ручья Иашор количество дунитов увеличивается местами до 40%. Кроме того, обнажаются отдельные тела дунит-пегматитов, мощностью в первые десятки метров, с проявлениями хромитов в виде коренных жил и локальных развалов. Среди амфибол-оливиновых апогарцбургитовых пород встречаются участки энстатит-оливиновых пород и сагвандиты. Характер разреза свидетельствует о смещении восточного блока (левый борт руч. Иашор) по разлому на юг.

Северная часть пересечения по правому борту р. Енга-Ю проходит по породам Центральной зоны метаморфизма, представленным энстатит-оливиновыми порфиробластовыми гигантозернистыми породами, среди которых встречаются блоки магнезит-оливин-энстатитовых пород – сагвандитов и несерпентинизированных пегматоидных дунитов. К югу породы Центральной зоны метаморфизма сменяются амфибол-энстатит-оливиновыми и средне-крупнозернистыми тальк-амфибол-оливиновыми породами. Для амфибол-энстатит-оливиновых пород характерна массивная текстура, без ориентировки амфибола и пироксена. Амфиболы имеют игольчатую или длиннопризматическую морфологию; зерна энстатита призматической или таблитчатой формы. Амфибол в породе преобладает над энстатитом. Среди амфибол-оливиновых и амфибол-энстатит-оливиновых пород встречаются небольшие тела гигантозернистых слабо или несерпентинизированных дунитов и сагвандитов.

Геологическое строение западной части Енгайской площади определяется развитием дунит-гарцбургитового комплекса на северо-западе участка, с содержанием дунитовой составляющей 20–30% с отдельными небольшими дунитовыми телами и существенно более «дунитовой» южной части, разделенными диагональным тектоническим нарушением. Гарцбургиты из дунит-гарцбургитового комплекса нацело перекристаллизованы до амфибол-энстатит-оливиновых пород, которые, в свою очередь, интенсивно амфиболизированы, оталькованы и деформированы.

Ориентировка полосчатости в апогарцбургитах совпадает с направлением расщепления пород. Дуниты в апогарцбургитовых метаморфитах слагают полосы, согласные с полосчатостью/директивностью и шлировые выделе-

ния округлой или неправильной формы размером от десятков сантиметров до 3–5 метров, иногда более.

Ортопироксен в амфибол-энстатит-оливиновых породах сохраняется лишь в редких реликтах, в основном замещаясь тальком и амфиболом. При этом оливин также рекристаллизуется, с образованием фрагментов полигонально-зернистой структуры. По линейным зонам – плоскостям рассланцевания, развиваются тальк и хлорит. Амфибол представлен тремолитом; хлорит – магнетитом и клинохлором.

Дуниты из полос и обособлений в дунит-гарцбургитовом комплексе средне-крупнозернистые, с развитием по спайности в оливине тонких пластинок антигорита. Зерна оливина часто с волнистым угасанием, деформационными полисинтетическими двойниками; наблюдаются линейные зоны рекристаллизации оливина.

Дуниты в пределах Енгайской площади, отрисованные на геологических картах единым геологическим телом, представляют собой серию тектонических блоков дунит-пегматитов, с развитием по деформационным зонам амфибол-оливиновых, тальк-амфибол-оливиновых и оливин-антигоритовых пород, нормативно (по петрохимическим пересчетам), соответствующим гарцбургиту. Так, например, скважина Р-4028, пробуренная в центре дунитового тела, на фоне общего увеличения основности дунитов с глубиной, пересекала два «гарцбургитовых» интервала с содержанием кремнезема более 41,5 мас. %.

В дунит-пегматитах размер зерен оливина достигает 5–10 см. Для минерала характерна весьма совершенная спайность с развитием по ней очень тонких пластинок антигорита. Акцессорный хромшпинелид идиоморфный, черного цвета, без зональности по окраске. В околорудных дунитах отмечается повсеместная рекристаллизация оливина. Кроме антигорита в оливине встречается более поздний петельчатый серпентин, иногда с бруситом; нередко присутствуют хлорит вокруг зерен хромовой шпинели, амфибол и тальк по деформационным зонам.

К югу от дунитового блока, после субширотной круто падающей на юг зоны разлома, выполненной перетертыми лизардит-антигоритовыми («черными») серпентинитами, продолжается метаморфизованный дунит-гарцбургитовый комплекс с количеством дунитов 20–40%. Дуниты в виде пологих прослоев, жил, шпиров. Морфология дунитовых обособлений всегда уплощенная, тела согласны общему плану деформаций. По гарцбургитам развиты амфибол-оливин-антигоритовые породы с грубой коркой выветривания.

В южной части Енгайской площади сказывается приближение к контакту ультрамафитов с габброидами – появляются ветвящиеся жилы и дайки амфиболовых пород и амфиболизованных клинопироксенитов, мощностью до 2–3 метров и более. Клинопироксениты зеленовато-серого цвета, с повышенной вкрапленностью магнетита.

Контакты пород и простирание трещиноватости в ультрамафитах сохраняются субширотными, с падением на юг под углами от 40–45 до 75–82°. В целом, к югу от дунитового блока, породы существенно менее деформированы, чем в северной и северо-западных частях площади.

Контакт ультрамафитов и габброидов – тектонический по Полойшорскому разрыву. Развитие пород полосчатого дунит-верлит-клинопироксенитового комплекса в пределах Енгайской площади фрагментарно.

Центральная часть Южного блока – это Центральное дунитовое тело, в котором локализованы рудопроявления Полюйшорские I и II; к северо-востоку от него – рудопроявление Рыбий Хвост; к северо-западу – рудопроявление Центральное-2; к юго-западу – месторождение Центральное.

Дуниты в центральной части тела средне- и крупнозернистые, до пегматоидных, с повышенной вкрапленностью хромовой шпинели, слабо серпентинизированные.

К северу от Центрального дунитового тела развиты энстатит-оливиновые и амфибол-энстатит-оливиновые породы, среднезернистые, со светло-зеленой, ямчатой коркой выветривания. Степень серпентинизации пород не более 10%. В энстатит-оливиновых породах проявлена полосчатость, азимут простираения полосчатости 220° , падение на юго-восток, угол падения 65° . Дунитовые тела и полосы согласны с полосчатостью в энстатит-оливиновых породах. Количество дунитовой составляющей 35–40%. Встречаются полосы, обогащенные энстатитом, вплоть до оливиновых энстатититов.

В амфибол-энстатит-оливиновых породах и ассоциирующих с ними пегматоидных дунитах активно проявлена синтетектоническая рекристаллизацией минералов (рис. 11) – оливина, энстатита, амфибола. Порфиробласты энстатит-

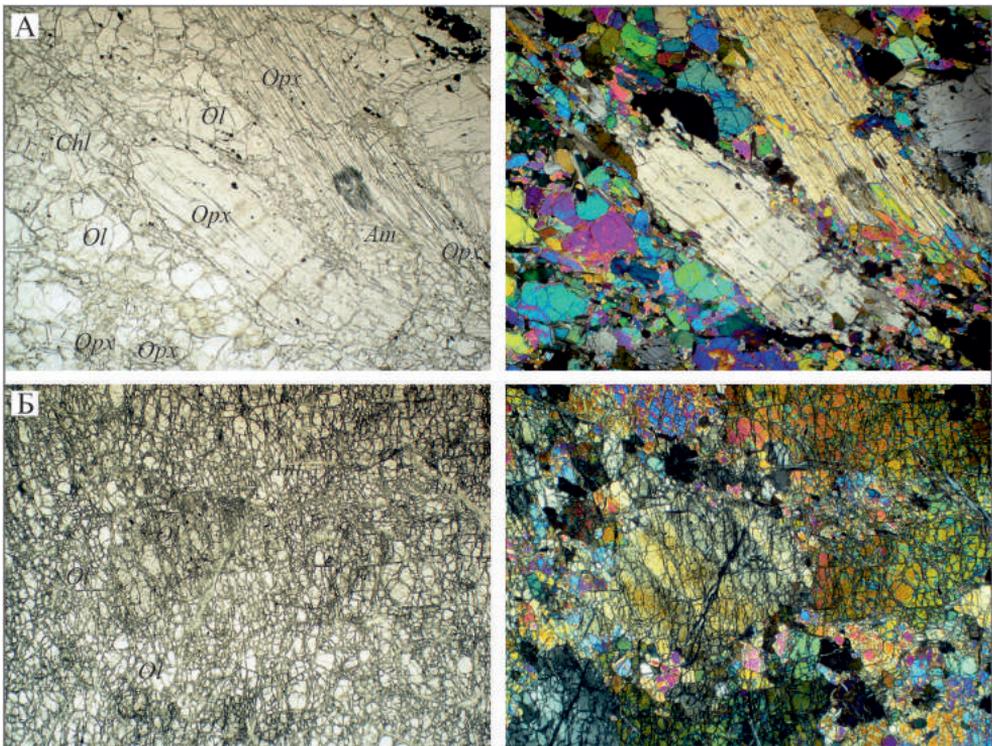


Рис. 11. Зоны рекристаллизации в энстатит-оливиновой породе (А) и дунит-пегматите (Б); штольня 480 м (Южный блок массива Рай-Из).

Слева – без анализатора, справа – с анализатором. Увеличение $25\times$ (4 мм по ширине кадра).
Ol – оливин, *Am* – амфибол, *Opx* – энстатит, *Ant* – антигорит, *Chl* – хлорит

та деформированы, со следами изгиба; в крупных (1–5 мм в поперечнике) зернах оливина наблюдается волнистое угасание и деформационные двойники. Зоны рекристаллизации, как правило, линейные, сложены мелко/микрозернистым агрегатом оливина, энстатита и амфибола, размер зерен которых на порядок меньше минералов, слагающих матрикс. Нередко как в зонах рекристаллизации, так и по межзерновым границам в матриксе развиты лейсты клинохлора и/или антигорита. Мощность зон рекристаллизации – не более 0,5–1,0 мм, обычно – менее. В дунит-пегматитах, с размером зерна оливина до 10 см, наблюдается развитие полигонально-зернистых агрегатов минерала внутри деформированных зерен.

Полойшорский разрыв, мощностью около 30–40 метров, отделяет Центральное дунитовое тело от рудовмещающих пород месторождения Центральное (см. главу 5). Энстатит-оливиновые, амфибол-энстатит-оливиновые породы и дуниты с активной рекристаллизацией минералов прослеживаются к западу и юго-западу от Центрального дунитового тела, вмещающая хромовое оруденение месторождения Центральное. Состав минералов исследован на микроанализаторе и приведен в главе 3.

2.3. Юго-Западный блок

Юго-западный блок расположен к югу от долины ручья Кузь-Тывис и к западу от реки Макар-Рузь. Этот блок вмещает месторождение Западное и рудопроявления 214 и Юго-Западные – I, II, III, IV. Изученная часть массива представляет собой фрагмент мегабудины, ориентированной своей выклиной на юг. Контакты с вмещающими образованиями тектонические. Западный и юго-западный контакты с амфиболитами, гранатовыми амфиболитами и гнейсами хараматолоуской серии устанавливаются в верховьях долины руч. Кыквомшор и правому безымянному притоку р. Макар-Рузь. Падения под углами 70–85° на восток и северо-восток под массив. Тектонический контакт сопровождается интенсивным рассланцеванием и развитием зон милонитов с преобладанием левой сдвиго-взбросовой кинематики.

Юго-восточный контакт с образованиями дунит-верлит-клинопироксенит-габбрового комплекса имеет юго-восточные падения под углами от 30 до 75° и характеризуется наложением более молодой левознаковой сдвиго-сбросовой кинематики с относительно приподнятым северо-западным блоком на более раннюю систему правого сдвиго-взбросового характера, сопровождающуюся серпентинизацией, разлинзованием, будинажем, в ряде случаев развитием зон актинолититов и жадеититовых жил.

Ранняя правознаковая сдвиго-взбросовая система нарушений, сопровождающаяся брекчированием, разлинзованием и будинажем, отмечается на протяжении всего контакта образований дунит-гарцбургитового и дунит-верлит-клинопироксенит-габбрового комплексов: в левобережье руч. Полойшор и восточнее – в районе проявления Енгайское-III.

Геологическими маршрутами уточнена площадь развития образований дунит-верлит-клинопироксенит-габбрового комплекса, которая несколько увеличилась за счет содержащих клинопироксен мелкозернистых дунитов приконтактной зоны, ранее относимых к дунит-гарцбургитовому комплексу.

Ультрамафиты юго-западной части массива Рай-Из представлены полосчатым дунит-гарцбургитовым комплексом с отдельными телами дунитов. Дуниты образуют линейные тела, жилы, линзовидные обособления, как правило, согласные с полосчатостью гарцбургитов и амфибол-энстатит-оливиновых пород, обусловленной распределением и ориентировкой энстатита и амфибола. Весьма часто полосчатость осложняется более молодым расланцеванием.

С возрастом дунитовой составляющей в дунит-гарцбургитовом комплексе увеличивается и мощность тел дунитов, колеблющаяся от первых сантиметров до десятков и сотен метров. Наиболее крупное – Южное тело дунитов, расположенное в южной части площади, имеющее линзовидную форму и удлиненное в северо-северо-восточном направлении на 4 км при ширине до 1,2 км. Северная часть дунитового тела перекрыта четвертичными отложениями долины р. Макара-Рузь. В пределах Южного дунитового тела локализованы хромовые проявления Юго-Западное III и IV. Кроме Южного дунитового тела выявлен ряд значительно более мелких дунитовых тел. Как правило, изменение содержания дунитовой составляющей происходит постепенно, но в ряде случаев отмечались резкие переходы от участков с низкой дунитовой составляющей до практически «чистых» дунитов. Ориентировка участков и зон с повышенной или пониженной дунитовой составляющей в общем случае согласна с полосчатостью гарцбургитов и апогарцбургитовых метаморфитов, имеющей в пределах площади северо-восточное простирание и крутое юго-восточное, реже северо-западное падение под углами 50–90°. Изменение падения полосчатости на восточное до северо-восточного и субширотного характерно для западной приконтактной части массива (правобережье руч. Визувшор и его правых притоков), а также для южной выклинки массива.

Внутреннее строение описываемой части массива Рай-Из весьма неоднородно. Проведенное расчленение ультрамафитов как по содержанию дунитовой составляющей, так и по составу метаморфогенных образований, выявило блоковое строение массива с развитием поперечных блоковых структур северо-западного направления, в пределах которых получили преобладающее развитие метаморфические энстатит-оливиновые и амфибол-энстатит-оливиновые породы. Блоковое строение подчеркивается и участками сгущения тел с повышенной дунитовой составляющей. Две наиболее значительные структуры северо-западного простирания устанавливаются в центральной части площади; структуры меньшего масштаба – субширотная в северной части и северо-восточного направления в южной части площади. Подавляющее количество известных хромоворудных объектов локализуется в участках пересечения основных рудных зон и выявленных поперечных структур.

Кроме описанных выше тектонических контактов юго-западной части массива Рай-Из, являющихся региональными структурами 1-го порядка, устанавливается существенное количество разрывных нарушений, обуславливающих блоковое строение территории и в значительной мере контролирующее распределение хромового оруденения.

Разрывные нарушения фиксируются как дистанционными методами по результатам дешифрирования МАКС и интерпретации магниторазведочных данных, так и геологическими наблюдениями, фиксируясь зонами кливажа и расланцевания.

Все системы нарушений – долгоживущие с многократными подновлениями сместителей, вплоть до четвертичного времени, поэтому кинематику нарушений установить трудно и можно лишь говорить о преобладающих смещениях той или иной системы разломов.

Весьма интенсивно проявленная система нарушений – северо-западного направления, имеющая древнее заложение и обуславливающая клавишно-блоковое строение площади. Для этой системы нарушений характерно преобладание левосдвиговой составляющей. Одно из наиболее интенсивных проявлений этой системы – зона нарушения, проходящая через верховья руч. Визувшор, рудопроявление 214 и рудное тело № 237. Второе крупное нарушение – тектоническая зона северо-западного направления на участке месторождения Западное. Практически на всех значимых проявлениях хромитов фиксируются нарушения данной северо-западной системы разломов.

Вторая весьма значимая система нарушений – северо-восточного до восток-северо-восточного направления, субсогласная общему простираению полосчатости. В отличие от северо-западной системы, она характеризуется преобладанием правознаковой сдвиговой составляющей. Как и в случае северо-западной системы, данная система нарушений контролирует большинство проявлений хромитов, в том числе и месторождение Западное. Данная система нарушений часто сопровождается жилами плагиоклазитов и редкими телами пироксени-тов, превращенных часто в амфиболовые породы.

Наиболее молодая система нарушений – субширотная, малоамплитудная с преобладанием сбросовой составляющей. Наиболее характерный представитель – разлом, следящийся по широтному участку долины руч. Визувшор.

Особо следует отметить структуру наиболее раннего заложения – западный дугообразный фрагмент Центральной зоны метаморфизма, устанавливаемый в западной и северо-западной частях Юго-Западной площади (истоки руч. Визувшор) и трассирующийся телами сагвандитов, гранатовых амфиболитов и линзами оливин-антигоритовых пород (войкаритов). Данная структура прослежена нами как в истоках руч. Визувшор, так и в борту руч. Кузьтывис и правобережье р. Макар-Рузь, и далее на северо-восток по долине р. Лев. Макар-Рузь.

Северная часть Юго-Западного блока, расположенная в междуречье ручьев Кузь-Тывис и Визувшор, сложена преимущественно амфибол-энстатит-оливиновыми породами. В непосредственной близости от долины руч. Кузь-Тывис обнажаются энстатит-оливиновые крупнозернистые породы с крупными порфиробластами энстатита. Далее к югу энстатит-оливиновые породы сменяются среднезернистыми амфибол-энстатит-оливиновыми породами с директивной текстурой и полосами и обособлениями дунитов. Количество дунитов заметно варьирует (рис. 12). В породах проявлена синтетектоническая рекристаллизация минералов, аналогичная описанной выше для западной части Южного блока. В этой части блока расположено месторождение хромовых руд Западное и рудопроявление 214.

К югу от ручья Визувшор и к западу от Южного дунитового тела продолжается полосчатых амфибол-энстатит-оливиновых пород с линейными зонами рекристаллизации минералов. Пойкилобласты энстатита деформированы, окружены многочисленными необластами (рис. 13). Дуниты согласны с полосчатостью апогарцбургитов. Дуниты в основном мелкозернистые,

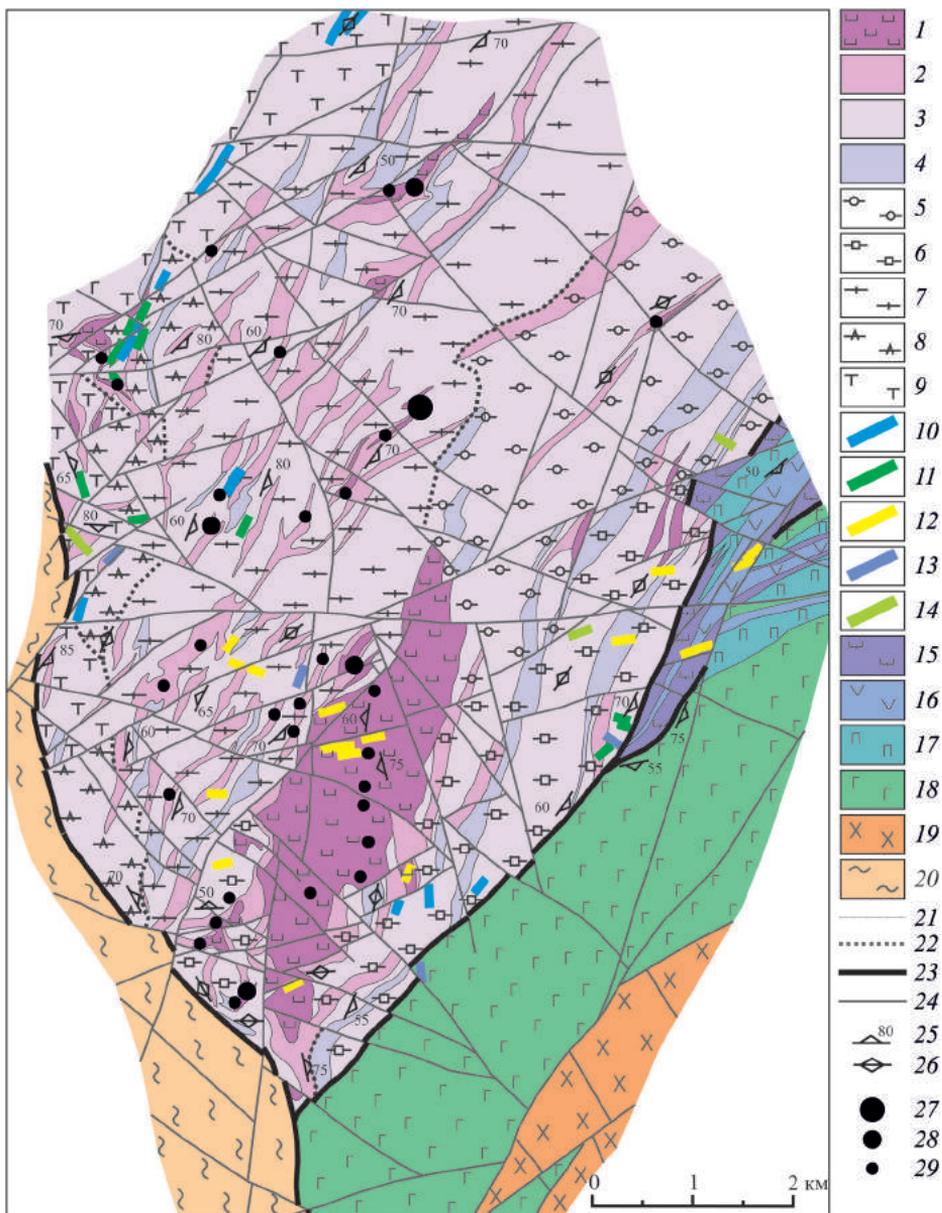


Рис. 12. Геологическая карта Юго-Западного блока массива Рай-Из.

1–9 – райизско-войкарский дунит-гарцбургитовый комплекс: 1–4 – дунитовая составляющая: 1 – 50% и более, 2 – 30–49%, 3 – 10–29%, 4 – менее 10%; 5–9 – метаморфические образования: 5 – амфибол-энстатит-оливиновая порода, 6 – амфибол-энстатит-оливиновая порода с реликтами гарцбургита, 7 – амфибол-энстатит-оливиновая порода с линейными зонами рекристаллизации, 8 – амфибол-энстатит-оливиновая порода антигоритизированная, 9 – амфибол-энстатит-оливиновая порода оталькованная; 10–14 – жильные и дайковые образования: 10 – сагвандиты, 11 – амфиболиты, 12 – плагиоклазиты, 13 – пироксениты, 14 – дайки базанитов; 15–18 – кэришорский дунит-верлит-пироксенит-габбровый комплекс: 15 – дуниты, 16 – верлиты, 17 – клинопироксениты, 18 – габбро амфиболлизированное; 19 – собский габбро-диорит-тоналитовый комплекс; 20 – хараматолоуский метаморфический комплекс; 21 – геологические границы; 22 – границы метаморфических образований; 23–24 – разрывные нарушения: 23 – 1-го порядка, 24 – 2-го порядка; 25–26 – элементы залегания полосчатости: 25 – наклонное, 26 – вертикальное; 27–29 – хромовое оруденение: 27 – месторождения, 28 – проявления, 29 – пункты минерализации

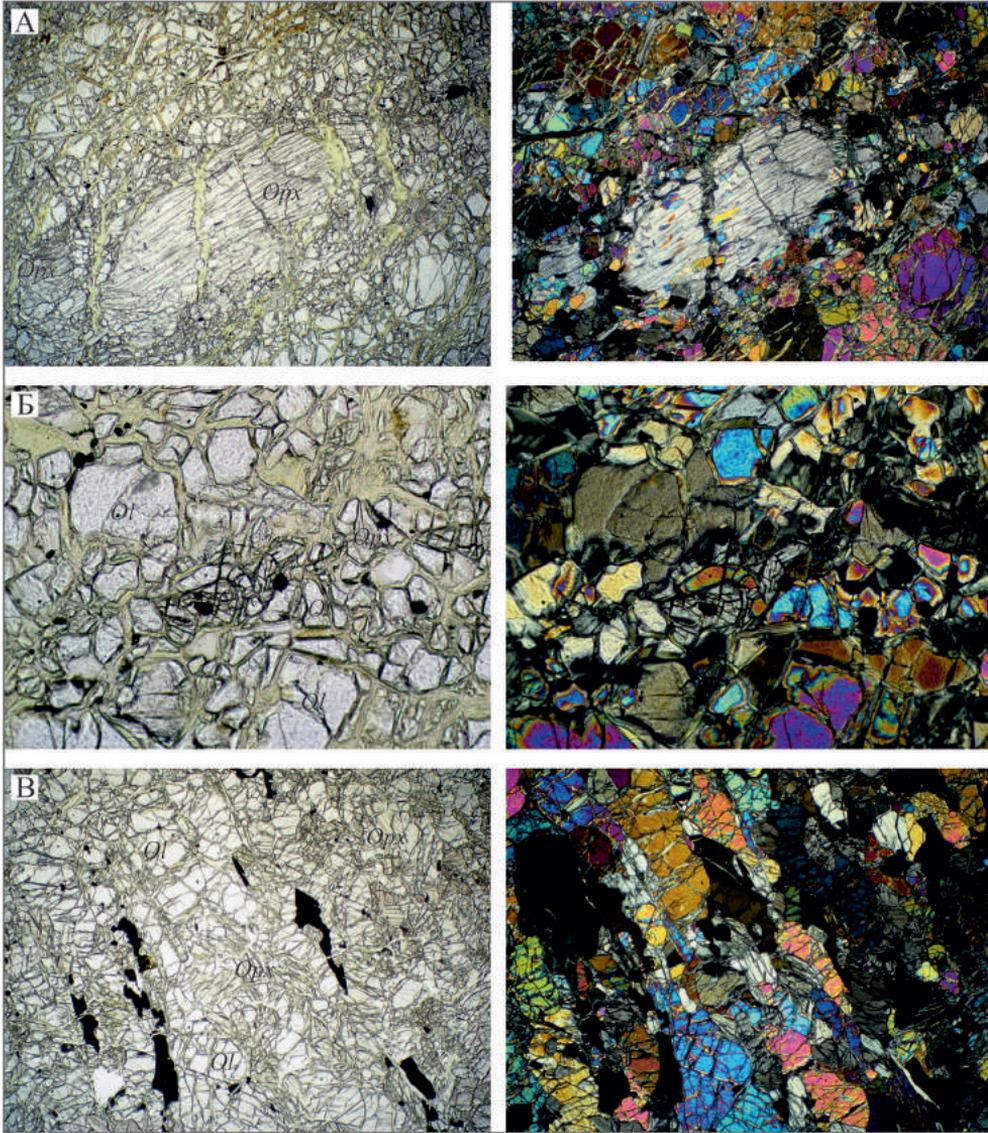


Рис. 13. Энстатит-оливиновые породы с зонами рекристаллизации; правый берег ручья Визувшор. Слева – без анализатора, справа – с анализатором. А – увеличение 25^х (4 мм по ширине кадра). Б, В – увеличение 100^х (1 мм по ширине кадра).
Ol – оливин, Orx – энстатит

слабо серпентинизированные; полосы, сложенные оливином полигонально-зернистой структуры чередуются с тонкими (менее 0,5–1 мм мощностью) суб-параллельными «прожилками» микрозернистого агрегата оливина, энстатита, амфибола, хлорита. Хромовая шпинель по составу соответствует хроммагнетиту, образует струйки, уплощенные в плоскости директивности породы (см. рис. 13).

В западном эндоконтакте ультрамафитов амфибол-энстатит-оливиновые породы и ассоциирующие с ними дуниты оталькованы и антигоритизированы, с сохранением полосчатости (рис. 14).

Южная часть блока, вмещающая рудопроявление Юго-Западное-1, сложена энстатит-амфибол-оливиновыми породами с содержанием энстатита и амфибола не более 15–20%. Энстатит по содержанию в породе заметно уступает амфиболу. Содержание дунитов не превышает 20%. Дуниты в виде жил, согласных с полосчатостью в апогарцбургитах, а также секущих полосчатость (см. рис. 14) и обособлений, как правило, линзовидной формы, мощностью не более 0,5 метра. Дуниты серпентинизированы сильнее, чем энстатит-амфибол-оливиновые породы. Непосредственно в контакте с дунитами, окаймляющими рудные тела и имеющими мощность не более метра, развиты энстатит-хлорит-оливиновые породы. Зерна энстатита нередко имеют форму овоидов до 2 см в диаметре. Содержание энстатита в породе до 30%. Рудная зона к востоку сменяется амфибол-оливиновыми породами, содержащими 10–15% дунитов и переходящими в амфиболитизированные гарцбургиты, которые протягиваются вдоль южного эндоконтакта ультрамафитов Юго-Западного блока.

Гарцбургиты встречаются в виде реликтовых участков среди энстатит-оливиновых и амфибол-энстатит-оливиновых пород в восточной части Юго-Западного блока. При исследовании в шлифах обнаруживаются структуры распада в ранних, порфирокластических энстатитах в виде ламелей светло-коричневой хромовой шпинели. Зерна акцессорного шпинелида темно-красно-коричневого цвета, нередко идиоморфные. Кроме раннего энстатита с ламелями хромшпинели в тех же образцах отмечаются порфиробласты ортопироксена с пойкилитовыми вростками амфибола, оливина и хроммагнетита. Составы минералов исследованы на микроанализаторе и приведены в главе 3. Содержание пироксена в гарцбургите 15–20%. Гарцбургиты слабо серпентинизированы. Дуниты мелко-среднезернистые, встречаются в виде жил и отдельных тел от 1 до 2,5 метров мощностью, серпентинизированы на 30–60%.



Рис. 14. Фрагменты дунит-гарцбургитового комплекса.

А – жилы дунита в энстатит-оливиновой породе; рудопроявление Юго-Западное-1. Б – дунит оталькованный в тальк-амфибол-оливиновой породе; верховья ручья Визувшор

2.4. Северный блок

Северный блок представляет собой часть массива Рай-Из, расположенную к северу от долины руч. Кузь-Тывис и р. Левая Макару-Рузь.

Разрез по западному борту долины рек Сось – Макару-Рузь пересекает весь Северный блок с севера на юг. В северном экзоконтакте ультрамафитов обнажаются эпидот-амфиболитовые сланцы с клиноцоизитом, хлоритом, карбонатом. Азимут простирания сланцев 210° , падение на юго-восток, под углом 45° . В эндоконтакте ультрамафитов развиты рассланцованные антигоритовые серпентиниты. Мощность приконтактных антигоритовых серпентинитов более километра. К югу серпентиниты постепенно сменяются оливин-антигоритовыми (войкаритовыми) сланцами. Войкаритовые сланцы вмещают будинированные тела пегматоидных дунитов, также антигоритизированных.

На широте Собского озера и далее в западной части блока, в верховьях левого притока р. Сось, обнажаются амфиболитизированные гарцбургиты с содержанием пироксена 20–30%. Тела амфиболитизированных гарцбургитов расположены в зоне интенсивных деформаций, вмещают их оливин-антигоритовые, сильно рассланцованные породы (войкаритовые сланцы). Структура гарцбургитов порфирикластическая. По периферии тела гарцбургитов энстатит в породе замещается амфиболом, оливин – антигоритом, аксессуарная хромовая шпинель светло-коричневого цвета (рис. 15) с хлорит-хромагнетитовыми каймами.

В гарцбургитах встречаются единичные жилы дунитов, имеющие субмеридиональное простирание, падение на восток под углом 40° , мощностью около 10 см и отдельные тела, до 5 метров мощностью. Гарцбургиты полосчатой текстуры. Простирание полосчатости 65° , падение на юг под углом 75° . Жилы дунитов секут полосчатость в гарцбургитах.

Амфиболитизированные гарцбургиты замещаются амфибол-энстатит-оливиновыми породами. При микроскопическом исследовании устанавливается замещение раннего энстатита, насыщенного ламелями хромовой шпинели, амфиболом, оливином и новообразованным бесцветным энстатитом (см. рис. 15, а также главу 3).

Амфибол-энстатит-оливиновые породы слагают полосу субширотного простирания, субсогласную с простиранием Центральной Зоны метаморфизма. Мощность полосы развития амфибол-энстатит-оливиновых пород составляет от 600 до 3500 метров. Амфибол-энстатит-оливиновые породы среднезернистые, директивной/полосчатой текстуры. Отмечаются участки рассланцевания, совпадающие по ориентировке с направлением полосчатости. Для рассланцованных пород характерно развитие талька и/или антигорита по плоскостям рассланцевания.

Среди амфибол-энстатит-оливиновых пород, обнажающихся в верховьях р. Сось, сохраняются реликты гарцбургитов, которые, как правило, устанавливаются только под микроскопом.

Далее к югу амфибол-энстатит-оливиновые породы переходят постепенно в клинохлор-амфибол-оливиновые средне-крупнозернистые, которые продолжают вплоть до выходов крупнозернистых порфирибластовых энстатит-оливиновых пород Центральной зоны метаморфизма.

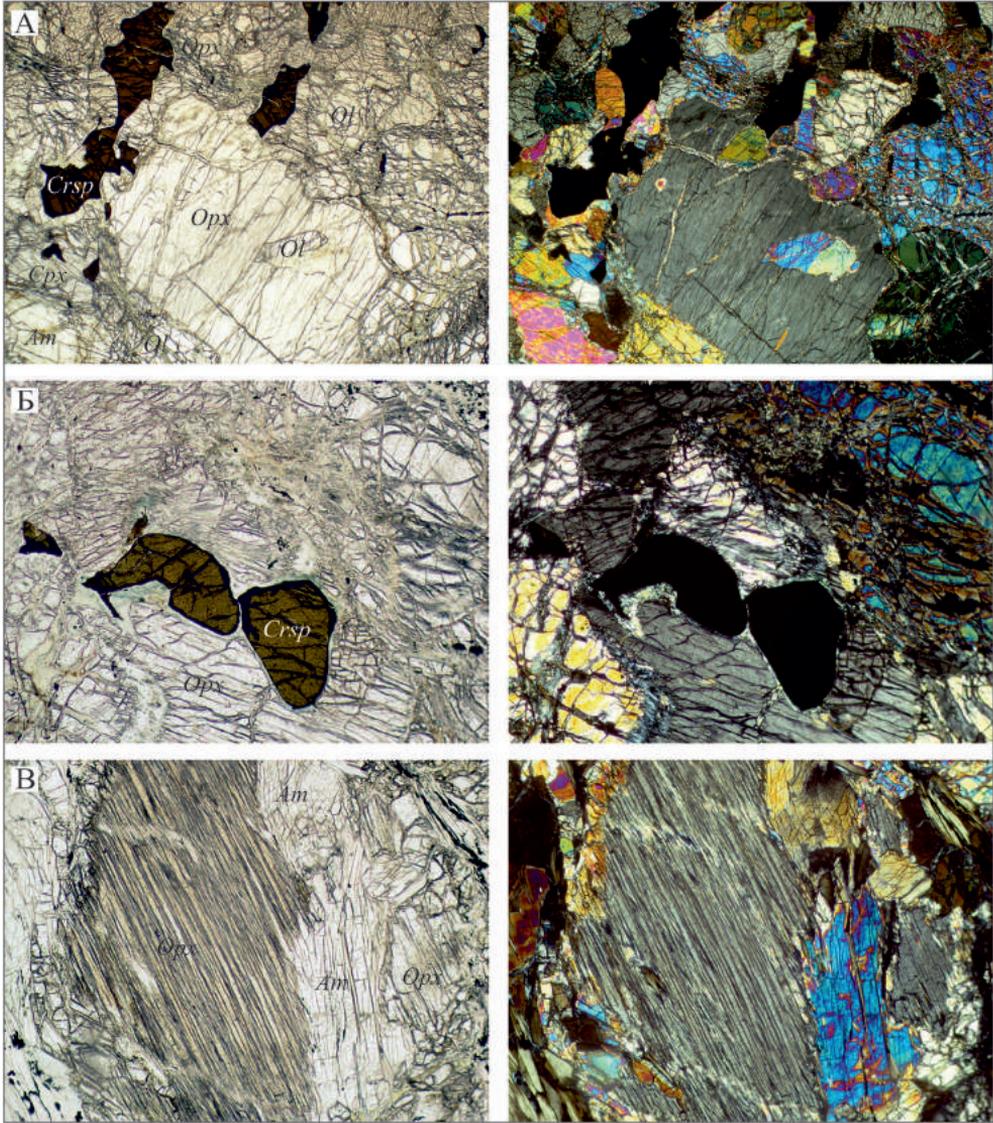


Рис. 15. Гарцбургит; левый приток р. Сось (северная часть массива Рай-Из).

А – хромовая шпинель в сростании с энстатитом, окруженным необластами диопсида, энстатита. Б – замещение энстатита, насыщенного ламелями хромовой шпинели, амфиболом. Слева – без анализатора, справа – с анализатором. Увеличение 25 \times (4 мм по ширине кадра).

Ol – оливин, *Opx* – энстатит, *Am* – амфибол, *Crsp* – хромовая шпинель

В верховьях р. Енга-Ю обнажается переход от антигоритовых серпентинитов, развитых вдоль северного контакта ультрамафитового массива и метаморфических пород Центральной Зоны метаморфизма. Переход представлен рассланцованными оливин-антигоритовыми и амфибол-оливин-антигоритовыми породами (рис. 16). К северу от полосы оливин-антигоритовых (войкаритовых) сланцев обнажаются массивные антигоритовые серпентиниты с обосо-

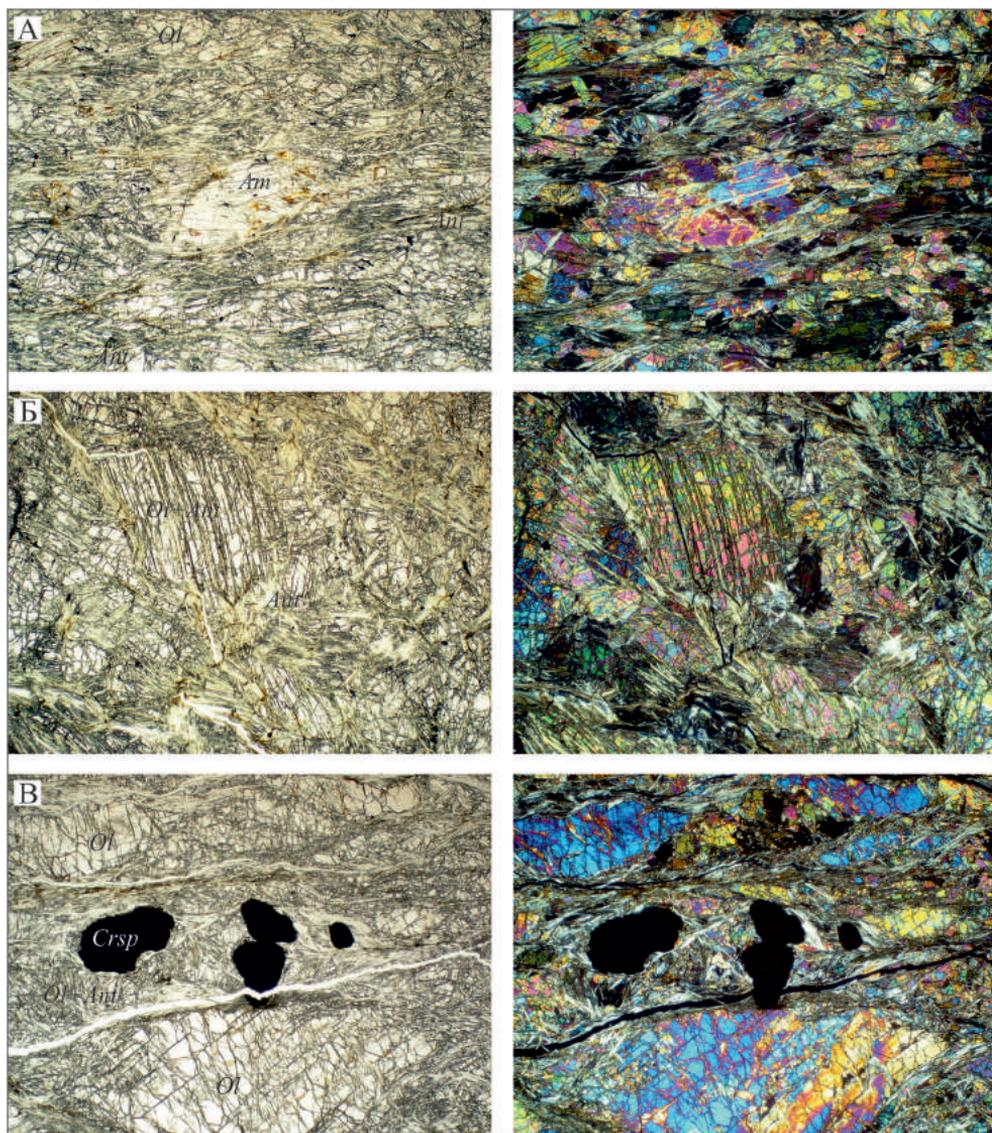


Рис. 16. Амфибол-оливин-антигоритовая (А) и оливин-антигоритовая (Б, В) породы (северная часть массива Рай-Из).

Ol – оливин, *Ant* – антигорит, *Am* – амфибол, *Crsp* – хромовая шпинель

блениями и жилами дунитов, как правило, пегматоидных, с хорошо проявленной отдельностью в зернах оливина. Степень серпентинизации дунитов заметно более слабая, чем окружающих антигоритовых серпентинитов. Иногда в антигоритовых серпентинитах устанавливаются реликты энстатитовых зерен, замещенных баститом.

В переходной полосе, сложенной оливин-антигоритовыми рассланцованными породами, степень серпентинизации и рассланцевания пород убы-

вадет с севера на юг, то есть по направлению к Центральной зоне метаморфизма, обнажающейся в долине р. Левая Макара-Рузь. Антигоритизация затухает постепенно. В амфибол-оливиновых породах, контактирующих с оливин-антигоритовыми с юга, а далее, в энстатит-оливиновых породах с порфиробластами энстатита, антигоритизация проявлена в виде отдельных пластинок по границам зерен или в зернах оливина. Пластинки антигорита пересекают зерна энстатита и амфибола. Более поздним минералом, чем антигорит, в этих породах являются тальк и игольчатый амфибол, которые развиваются по энстатиту и оливину.

Смена метаморфических ассоциаций, прослеженная в ультрамафитах массива Рай-Из и представленная выше в опорных пересечениях, отражает метаморфическую зональность массива, которая, на наш взгляд, согласована с так называемыми «первичными» подкомплексами дунит-гарцбургитового комплекса. Распределение метаморфических ассоциаций в ультрамафитах массива показано на рис. 17.

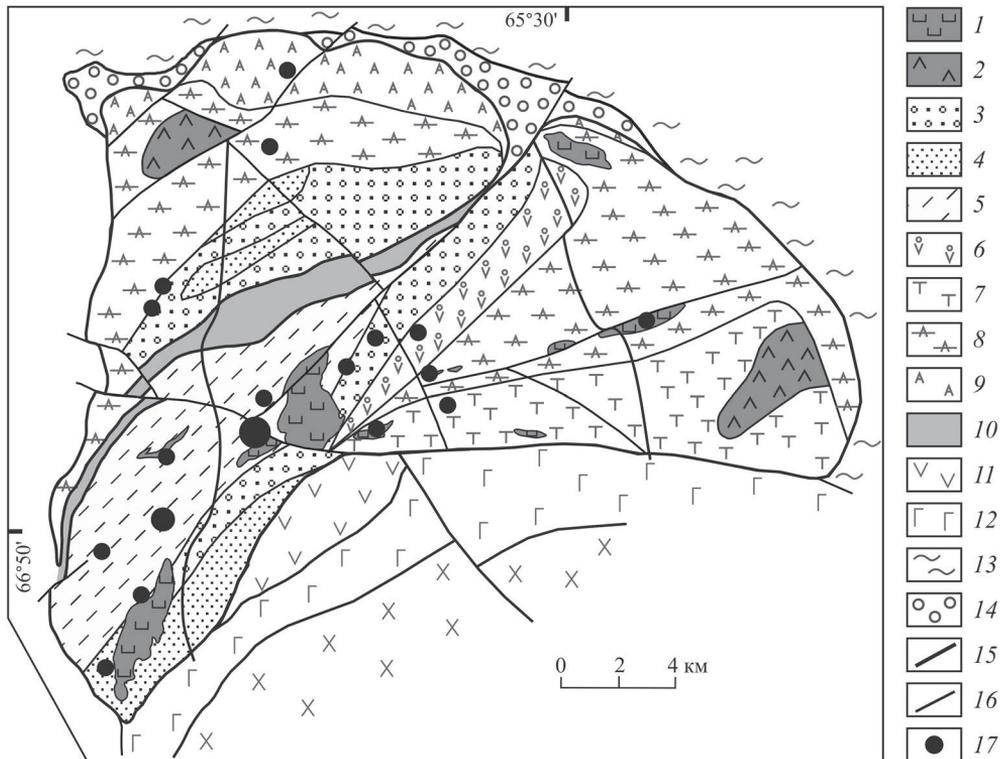


Рис. 17. Схема метаморфической зональности массива Рай-Из.

1 – дунит; 2 – гарцбургит; 3–9 – метаморфические ассоциации: 3 – энстатит-оливиновая, амфибол-энстатит-оливиновая порода, 4 – амфибол-энстатит-оливиновая порода с реликтами гарцбургита, 5 – амфибол-энстатит-оливиновая порода с линейными зонами рекристаллизации, 6 – амфибол-оливиновая порода, 7 – тальк-амфибол-оливиновая порода, 8 – оливин-антигоритовая, амфибол-оливин-антигоритовая порода, 9 – антигоритовый серпентинит; 10 – Центральная зона метаморфизма; 11 – дунит-верлит-пироксенит-габбровый комплекс; 12 – габбро; 13 – филлитовидные сланцы нижнего палеозоя (орангская свита); 14 – зона меланжа; 15–16 – разрывные нарушения: 15 – 1-го порядка, 16 – 2-го порядка; 17 – месторождения и рудопроявления хромитов.

Наименее измененные петельчато серпентинизированные ультрамафиты соответствуют гарцбургитовому подкомплексу.

Подкомплекс гарцбургитов с секущими жилами дунитов соответствует в метаморфической зональности зоне развития амфибол-оливиновых и амфибол-оливин-антигоритовых пород, нередко с наложенным развитием оталькования и амфиболизации.

Наиболее высокопараметрические метаморфиты (см. главу 3) – энстатит-оливиновые и амфибол-энстатит-оливиновые породы маркируют область развития шлирово-полосчатого дунит-гарцбургитового комплекса с наиболее высоким содержанием дунитовой составляющей.

Крупные дунитовые тела – Южное и Центральное, тяготеют к юго-восточной границе развития энстатит-оливиновых и амфибол-энстатит-оливиновых пород с зонами синтетектонической рекристаллизации минералов. Более мелкие дунитовые тела, расположенные к северо-востоку от Центрального дунитового тела, также трассируют, по-видимому, фациальную метаморфическую границу амфибол-оливиновых и амфибол-оливин-антигоритовых пород с северо-запада и амфиболизированных гарцбургитов – с юго-востока. Эта граница затушевана более поздним процессом оталькования и амфиболизации.

3.1. Гарцбургиты

Гарцбургиты, не затронутые метаморфическими процессами, за исключением петельчатой серпентинизации, сохранились на массиве Рай-Из в юго-восточной (руч. Безымянный), северо-западной (р. Сось) и фрагментарно – юго-западной частях массива.

Гарцбургиты представляют собой среднезернистую породу с мезогранулярной или порфирокластической структурой. Порфирокласты энстатита окружены необластами энстатита, диопсида, амфибола, оливина. Основная масса представляет средне- или мелкозернистый агрегат оливина с выдержанным размером зерен (0,2–0,5 мм). Границы зерен оливина извилистые, заливчатые, кристаллографической огранки, характерной для оливинов из метаморфических ассоциаций, в гарцбургитах не наблюдается. Акцессорный хромшпинелид, как правило, ксеноморфный (рис. 18, 19), в шлифе коричневого или темно-желтого цвета.

Состав минералов исследован на электронно-зондовом микроанализаторе Cameca SX 100 в Институте геологии и геохимии в Центре коллективного пользования УрО РАН «Геоаналитик»; аналитики Д.А. Замятин, А.В. Михеева.

Энстатит содержит заметные примеси кальция, алюминия, хрома (табл. 1). В отдельных зернах наблюдается неравномерное распределение этих компонентов, связанное с выпадением из раннего энстатита ламелей хромшпинели и

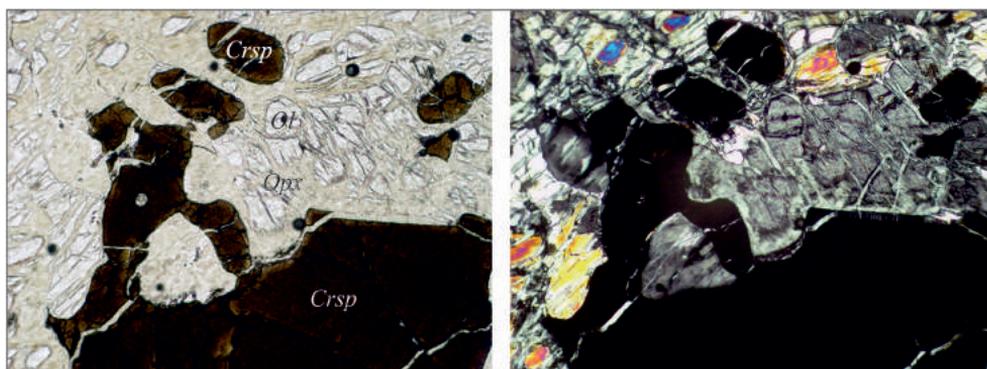


Рис. 18. Энстатит в сростании с хромовой шпинелью; гарцбургит руч. Безымянный.

Слева – без анализатора, справа – с анализатором. Увеличение 100× (1 мм по ширине кадра).
Ol – оливин, *Orp* – энстатит, *Crsp* – хромовая шпинель

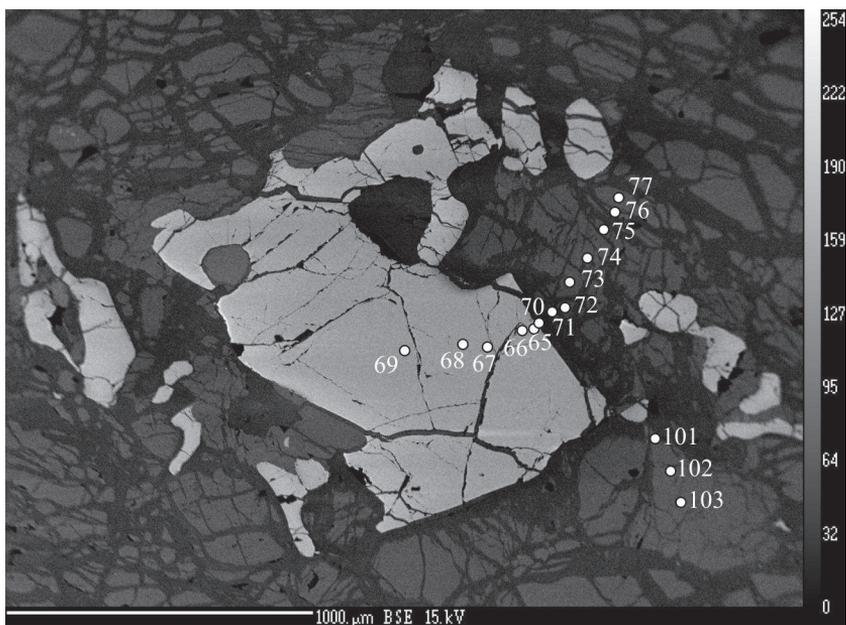


Рис. 19. Энстатит в сростании с хромовой шпинелью; гарцбургит руч. Безымянный.
BSE-изображение

диопсида. Процесс распада энстатита при остывании и деформации ультрамафитов описан в работах Г.Н. Савельевой (1979, 1987, 2015, 2016), И.С. Чашухина (1986), Д.Е. Савельева (2017) и др.

Для оливина в гарцбургите (табл. 2) характерна железистость ($f = \text{Fe} \cdot 100 / (\text{Fe} + \text{Mg})$) от 8,7 до 10%, что соответствует и железистости энстатита (см. табл. 1). Содержание оксида никеля составляет 0,35–0,53%. По направлению к контакту с зерном хромовой шпинели в минерале наблюдается возрастание железистости, а также содержания никеля и хрома.

Амфибол встречается в виде единичных идиоморфных зерен, пространственно тяготеющих к пироксену. По оптическим свойствам и химическому составу соответствует алюминийсодержащему тремолиту/эдениту (табл. 3). Количество хлора и фтора в минерале постоянно контролировалось при микронзондовом исследовании и значительно ниже предела обнаружения.

Состав акцессорной хромшпинели типичный для гарцбургитов и соответствует алюмохромиту (табл. 4). В шпинелиде обнаружена зональность, проявленная в повышении от центра к краю зерна содержания алюминия и понижению хрома (рис. 20, 21). Подобная зональность в минерале описана Е.Е. Лазько (1986) для гарцбургитов Войкаро-Сыньинского массива и встречена нами в несерпентинизированных гарцбургитах плато Пайты (Вахрушева, 2007).

Акцессорная хромовая шпинель идиоморфная или округлая, темно-коричневого цвета со светло-коричневой каймой, что отражает химическую зональность в минерале (рис. 22; табл. 5) – к краю зерна заметно возрастает содержание глинозема, магния, цинка и кобальта; снижается количество суммарного железа, никеля, а также резко снижается степень окисленности железа (содер-

Таблица 1

Химический состав энстатита (в мас. %) из гарибургита; руч. Безымянный

| Точка | SiO ₂ | MgO | CaO | Cr ₂ O ₃ | FeO | MnO | NiO | Al ₂ O ₃ | Na ₂ O | K ₂ O | TiO ₂ | Сумма |
|--|------------------|-------|-------|--------------------------------|-------|-------|-------|--------------------------------|-------------------|------------------|------------------|--------|
| 71 | 56,95 | 33,56 | 0,37 | 0,38 | 6,10 | 0,22 | 0,03 | 1,85 | 0,01 | 0,04 | 0,04 | 99,55 |
| 72 | 56,95 | 33,43 | 0,45 | 0,48 | 5,98 | 0,19 | 0,04 | 1,91 | 0,02 | 0,02 | 0,00 | 99,47 |
| 73 | 56,67 | 33,78 | 0,47 | 0,28 | 6,00 | 0,21 | 0,18 | 1,83 | 0,03 | 0,02 | 0,00 | 99,47 |
| 74 | 56,72 | 33,58 | 0,57 | 0,40 | 5,91 | 0,16 | 0,06 | 2,11 | 0,00 | 0,03 | 0,05 | 99,59 |
| 75 | 57,72 | 33,89 | 0,26 | 0,26 | 6,36 | 0,20 | 0,12 | 0,99 | 0,00 | 0,00 | 0,04 | 99,84 |
| 104 | 56,48 | 33,31 | 0,52 | 0,57 | 5,80 | 0,12 | 0,01 | 2,23 | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 99,08 |
| 105 | 56,13 | 33,68 | 0,50 | 0,64 | 6,23 | 0,16 | 0,16 | 2,39 | 0,03 | 0,00 | 0,08 | 100,00 |
| 106 | 56,24 | 32,80 | 1,04 | 0,74 | 6,05 | 0,22 | 0,10 | 2,31 | 0,00 | 0,00 | 0,03 | 99,53 |
| 107 | 55,25 | 33,74 | 0,51 | 0,64 | 6,85 | 0,12 | 0,04 | 2,52 | 0,00 | 0,02 | 0,00 | 99,69 |
| Формульные коэффициенты в пересчете на 4 катиона | | | | | | | | | | | | |
| Точка | Si | Mg | Ca | Cr | Fe | Mn | Ni | Al | Na | K | Ti | f* |
| 71 | 1,974 | 1,734 | 0,014 | 0,010 | 0,177 | 0,006 | 0,001 | 0,076 | 0,001 | 0,002 | 0,001 | 9,25 |
| 72 | 1,976 | 1,729 | 0,017 | 0,013 | 0,174 | 0,006 | 0,001 | 0,078 | 0,001 | 0,001 | 0,000 | 9,12 |
| 73 | 1,965 | 1,746 | 0,017 | 0,008 | 0,174 | 0,006 | 0,005 | 0,075 | 0,002 | 0,001 | 0,000 | 9,06 |
| 74 | 1,966 | 1,735 | 0,021 | 0,011 | 0,171 | 0,005 | 0,002 | 0,086 | 0,000 | 0,001 | 0,001 | 8,99 |
| 75 | 1,998 | 1,748 | 0,010 | 0,007 | 0,184 | 0,006 | 0,003 | 0,040 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 9,53 |
| 104 | 1,968 | 1,730 | 0,019 | 0,016 | 0,169 | 0,004 | 0,000 | 0,092 | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 8,90 |
| 105 | 1,937 | 1,732 | 0,018 | 0,017 | 0,180 | 0,005 | 0,004 | 0,097 | 0,002 | 0,000 | 0,002 | 9,40 |
| 106 | 1,957 | 1,702 | 0,039 | 0,020 | 0,176 | 0,006 | 0,003 | 0,095 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 9,38 |
| 107 | 1,914 | 1,742 | 0,019 | 0,018 | 0,198 | 0,004 | 0,001 | 0,103 | 0,000 | 0,001 | 0,000 | 10,23 |

*f = Fe*100%/(Fe + Mg) – железистость минерала.

Таблица 2

Химический состав оливина (в мас. %) из гарибургита; руч. Безымянный

| Точка | SiO ₂ | MgO | CaO | Cr ₂ O ₃ | FeO | MnO | NiO | Al ₂ O ₃ | Na ₂ O | TiO ₂ | Сумма |
|--|------------------|-------|-------|--------------------------------|-------|-------|---------|--------------------------------|-------------------|------------------|--------|
| 27 | 41,09 | 49,16 | 0,01 | 0,35 | 9,50 | 0,06 | 0,53 | 0,03 | 0,01 | 0,00 | 100,74 |
| 28 | 40,67 | 48,78 | 0,00 | 0,27 | 9,25 | 0,14 | 0,42 | 0,05 | 0,00 | 0,00 | 99,58 |
| 29 | 40,26 | 50,38 | 0,01 | 0,06 | 8,55 | 0,19 | 0,38 | 0,01 | 0,00 | 0,01 | 99,85 |
| 30 | 41,00 | 48,80 | 0,00 | 0,26 | 9,33 | 0,16 | 0,42 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 99,97 |
| 39 | 40,51 | 48,42 | 0,00 | 0,09 | 9,11 | 0,09 | 0,35 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 98,57 |
| 40 | 40,75 | 48,20 | 0,01 | 0,05 | 9,30 | 0,08 | 0,47 | 0,01 | 0,00 | 0,08 | 98,95 |
| 41 | 41,12 | 48,52 | 0,01 | 0,00 | 9,58 | 0,18 | 0,40 | 0,01 | 0,05 | 0,00 | 99,87 |
| 76 | 40,97 | 48,65 | 0,00 | 0,12 | 9,22 | 0,11 | He опр. | 0,04 | 0,00 | 0,02 | 99,13 |
| 77 | 40,65 | 48,90 | 0,02 | 0,00 | 9,40 | 0,12 | He опр. | 0,02 | 0,02 | 0,15 | 99,28 |
| Формульные коэффициенты в пересчете на 3 катиона | | | | | | | | | | | |
| Точка | Si | Mg | Ca | Cr | Fe | Mn | Ni | Al | Na | Ti | f |
| 27 | 1,001 | 1,785 | 0,000 | 0,007 | 0,194 | 0,001 | 0,010 | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 9,78 |
| 28 | 1,001 | 1,790 | 0,000 | 0,005 | 0,190 | 0,003 | 0,008 | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 9,62 |
| 29 | 0,981 | 1,831 | 0,000 | 0,001 | 0,174 | 0,004 | 0,007 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 8,69 |
| 30 | 1,006 | 1,786 | 0,000 | 0,005 | 0,192 | 0,003 | 0,008 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 9,69 |
| 39 | 1,007 | 1,793 | 0,000 | 0,002 | 0,189 | 0,002 | 0,007 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 9,55 |
| 40 | 1,011 | 1,782 | 0,000 | 0,001 | 0,193 | 0,002 | 0,009 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 9,77 |
| 41 | 1,010 | 1,776 | 0,000 | 0,000 | 0,197 | 0,004 | 0,008 | 0,000 | 0,002 | 0,000 | 9,97 |
| 76 | 1,012 | 1,791 | 0,000 | 0,002 | 0,190 | 0,002 | He опр. | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 9,61 |
| 77 | 1,002 | 1,797 | 0,001 | 0,000 | 0,194 | 0,003 | He опр. | 0,001 | 0,001 | 0,003 | 9,73 |

Таблица 3

Химический состав амфибола (в мас. %) из гарцбургита; руч. Безымянный

| Точка | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Cr ₂ O ₃ | FeO | MgO | MnO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | Сумма |
|--|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------|-------|-------|-------|-------------------|------------------|-------|
| 85 | 56,01 | 0,11 | 2,18 | 0,79 | 1,55 | 22,50 | 0,11 | 13,28 | 0,35 | 0,01 | 96,89 |
| 86 | 55,91 | 0,00 | 2,51 | 0,94 | 1,88 | 22,53 | 0,00 | 13,05 | 0,40 | 0,02 | 97,24 |
| 87 | 56,12 | 0,00 | 2,08 | 0,95 | 1,56 | 22,80 | 0,09 | 13,62 | 0,25 | 0,00 | 97,47 |
| 92 | 51,99 | 0,26 | 6,82 | 0,46 | 2,19 | 20,53 | 0,00 | 13,19 | 1,29 | 0,02 | 96,75 |
| 93 | 52,09 | 0,26 | 7,03 | 0,36 | 2,87 | 20,37 | 0,01 | 13,15 | 1,27 | 0,01 | 97,42 |
| 101 | 55,35 | 0,00 | 2,54 | 0,49 | 1,75 | 22,47 | 0,00 | 13,30 | 0,43 | 0,02 | 96,35 |
| 102 | 54,71 | 0,00 | 3,29 | 1,30 | 2,08 | 21,70 | 0,00 | 13,42 | 0,50 | 0,04 | 97,04 |
| 103 | 54,85 | 0,00 | 3,30 | 0,98 | 1,76 | 21,61 | 0,04 | 13,50 | 0,65 | 0,06 | 96,75 |
| Формульные коэффициенты в пересчете на на 23 атома кислорода | | | | | | | | | | | |
| Точка | Si | Ti | Al | Al ^{IV} | Al ^{VI} | Cr | Fe | Mg | Mn | Ca | Na |
| 85 | 7,738 | 0,011 | 0,355 | 0,262 | 0,093 | 0,086 | 0,179 | 4,634 | 0,013 | 1,966 | 0,094 |
| 86 | 7,704 | 0,000 | 0,408 | 0,296 | 0,112 | 0,102 | 0,217 | 4,628 | 0,000 | 1,927 | 0,107 |
| 87 | 7,718 | 0,000 | 0,337 | 0,282 | 0,055 | 0,103 | 0,179 | 4,674 | 0,010 | 2,007 | 0,067 |
| 92 | 7,256 | 0,027 | 1,122 | 0,744 | 0,377 | 0,051 | 0,256 | 4,271 | 0,000 | 1,972 | 0,349 |
| 93 | 7,238 | 0,027 | 1,151 | 0,762 | 0,389 | 0,040 | 0,334 | 4,219 | 0,001 | 1,958 | 0,342 |
| 101 | 7,696 | 0,000 | 0,416 | 0,304 | 0,113 | 0,054 | 0,204 | 4,658 | 0,000 | 1,981 | 0,116 |
| 102 | 7,592 | 0,000 | 0,538 | 0,408 | 0,130 | 0,143 | 0,241 | 4,489 | 0,000 | 1,995 | 0,135 |
| 103 | 7,620 | 0,000 | 0,540 | 0,380 | 0,161 | 0,108 | 0,205 | 4,476 | 0,005 | 2,009 | 0,175 |

Таблица 4

Химический состав хромовой шпинели (в мас. %) из гарцбургита; руч. Безымянный

| Точка | TiO ₂ | Cr ₂ O ₃ | Al ₂ O ₃ | FeO | MgO | MnO | NiO | V ₂ O ₃ | ZnO | CoO | Сумма |
|--|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------|------------------|-------|-------|-------------------------------|-------|-------|-------|
| 51 | 0,05 | 33,03 | 31,75 | 20,74 | 11,73 | 0,16 | 0,14 | 0,26 | 0,46 | 0,07 | 98,41 |
| 52 | 0,00 | 33,52 | 31,94 | 20,51 | 11,63 | 0,18 | 0,16 | 0,20 | 0,45 | 0,10 | 98,69 |
| 53 | 0,00 | 34,22 | 31,70 | 20,90 | 11,31 | 0,19 | 0,15 | 0,23 | 0,47 | 0,15 | 99,32 |
| 54 | 0,02 | 33,73 | 30,88 | 21,86 | 11,80 | 0,11 | 0,24 | 0,17 | 0,58 | 0,07 | 99,46 |
| 55 | 0,00 | 33,52 | 31,80 | 21,19 | 11,60 | 0,13 | 0,07 | 0,19 | 0,38 | 0,05 | 98,94 |
| 56 | 0,04 | 34,53 | 32,16 | 20,23 | 11,66 | 0,14 | 0,12 | 0,17 | 0,18 | 0,07 | 99,30 |
| 57 | 0,03 | 34,92 | 31,68 | 20,72 | 11,81 | 0,00 | 0,19 | 0,19 | 0,25 | 0,15 | 99,97 |
| 58 | 0,01 | 33,88 | 31,01 | 21,67 | 11,54 | 0,21 | 0,09 | 0,17 | 0,26 | 0,23 | 99,08 |
| 59 | 0,04 | 33,67 | 32,21 | 19,88 | 11,77 | 0,21 | 0,11 | 0,19 | 0,34 | 0,08 | 98,50 |
| 60 | 0,00 | 32,28 | 35,64 | 18,17 | 12,32 | 0,12 | 0,08 | 0,18 | 0,41 | 0,00 | 99,20 |
| 61 | 0,03 | 30,69 | 36,50 | 18,15 | 12,77 | 0,10 | 0,07 | 0,19 | 0,72 | 0,06 | 99,32 |
| 62 | 0,01 | 33,92 | 31,60 | 21,59 | 11,47 | 0,09 | 0,14 | 0,19 | 0,35 | 0,17 | 99,54 |
| 63 | 0,03 | 33,80 | 31,82 | 21,15 | 11,61 | 0,15 | 0,15 | 0,21 | 0,25 | 0,00 | 99,19 |
| 64 | 0,03 | 33,17 | 32,12 | 21,62 | 11,42 | 0,12 | 0,11 | 0,16 | 0,52 | 0,06 | 99,33 |
| Формульные коэффициенты в пересчете на 3 катиона | | | | | | | | | | | |
| Точка | Cr | Al | V | Fe ²⁺ | Fe ³⁺ | Mg | Ni | Mn | Zn | Co | f |
| 51 | 0,789 | 1,131 | 0,006 | 0,451 | 0,073 | 0,528 | 0,003 | 0,004 | 0,010 | 0,002 | 46,07 |
| 52 | 0,799 | 1,135 | 0,005 | 0,456 | 0,061 | 0,523 | 0,004 | 0,005 | 0,010 | 0,002 | 46,60 |
| 53 | 0,814 | 1,124 | 0,006 | 0,470 | 0,056 | 0,507 | 0,004 | 0,005 | 0,010 | 0,004 | 48,09 |
| 54 | 0,801 | 1,093 | 0,004 | 0,448 | 0,101 | 0,528 | 0,006 | 0,003 | 0,013 | 0,002 | 45,90 |
| 55 | 0,798 | 1,128 | 0,005 | 0,464 | 0,069 | 0,521 | 0,002 | 0,003 | 0,008 | 0,001 | 47,14 |
| 56 | 0,818 | 1,136 | 0,004 | 0,467 | 0,040 | 0,521 | 0,003 | 0,004 | 0,004 | 0,002 | 47,25 |
| 57 | 0,824 | 1,114 | 0,005 | 0,460 | 0,057 | 0,525 | 0,005 | 0,000 | 0,006 | 0,004 | 46,69 |
| 58 | 0,808 | 1,103 | 0,004 | 0,462 | 0,085 | 0,519 | 0,002 | 0,005 | 0,006 | 0,006 | 47,08 |
| 59 | 0,802 | 1,144 | 0,005 | 0,454 | 0,048 | 0,529 | 0,003 | 0,005 | 0,008 | 0,002 | 46,16 |
| 60 | 0,753 | 1,239 | 0,004 | 0,444 | 0,004 | 0,542 | 0,002 | 0,003 | 0,009 | 0,000 | 45,06 |
| 61 | 0,711 | 1,260 | 0,004 | 0,420 | 0,024 | 0,558 | 0,002 | 0,002 | 0,016 | 0,001 | 42,97 |
| 62 | 0,805 | 1,118 | 0,005 | 0,469 | 0,073 | 0,513 | 0,003 | 0,002 | 0,008 | 0,004 | 47,76 |
| 63 | 0,803 | 1,127 | 0,005 | 0,466 | 0,065 | 0,520 | 0,004 | 0,004 | 0,006 | 0,000 | 47,29 |
| 64 | 0,787 | 1,136 | 0,004 | 0,470 | 0,072 | 0,511 | 0,003 | 0,003 | 0,012 | 0,001 | 47,93 |

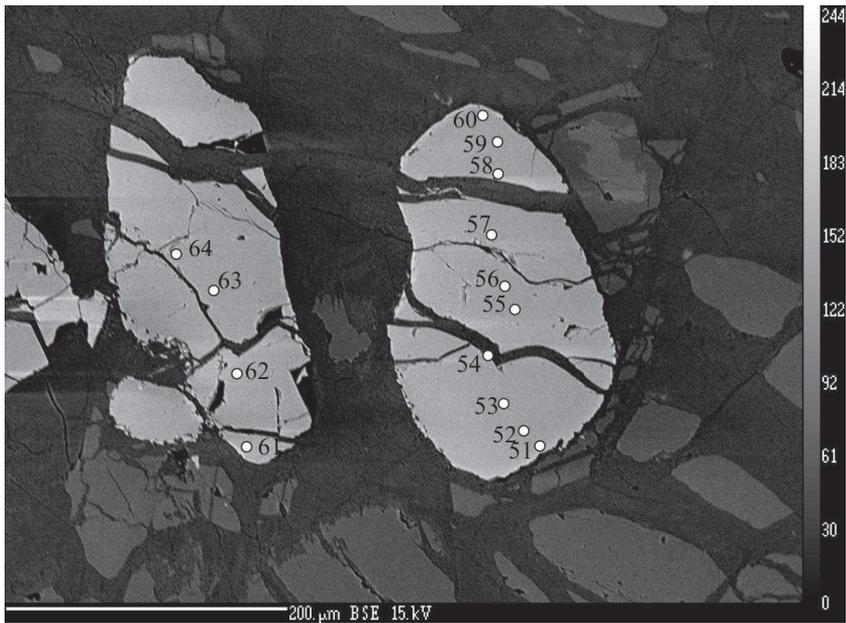


Рис. 20. Зональная хромовая шпинель в гарцбургите; руч. Безымянный.

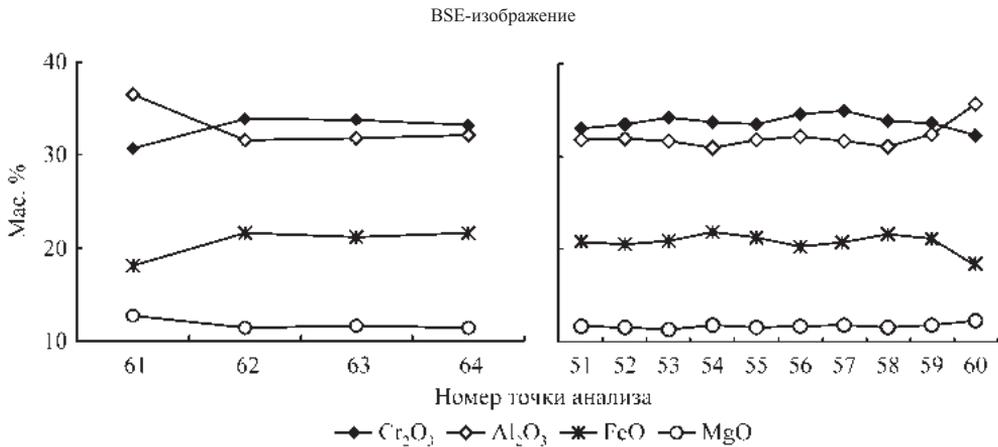


Рис. 21. Химическая зональность в зернах хромовой шпинели

жание Fe^{3+} , рассчитанное из стехиометрии). Если в хромовой шпинели из гарцбургита наблюдается постепенное изменение состава от центральных к крайним частям зерен, то в дуните контакт внешней каймы и основной части зерна довольно резкий. Как видно из диаграммы, приведенной на рис. 23, состав каймы в шпинелиде из дунита соответствует и краевой части минерала из гарцбургита. Характер зональности свидетельствует о нарастании глиноземистого шпинелида на более раннюю железистую шпинель в дуните.

С гарцбургитами ассоциируют дуниты, представленные в виде секущих жил небольшой мощности. Дуниты в основном среднезернистые, иногда с

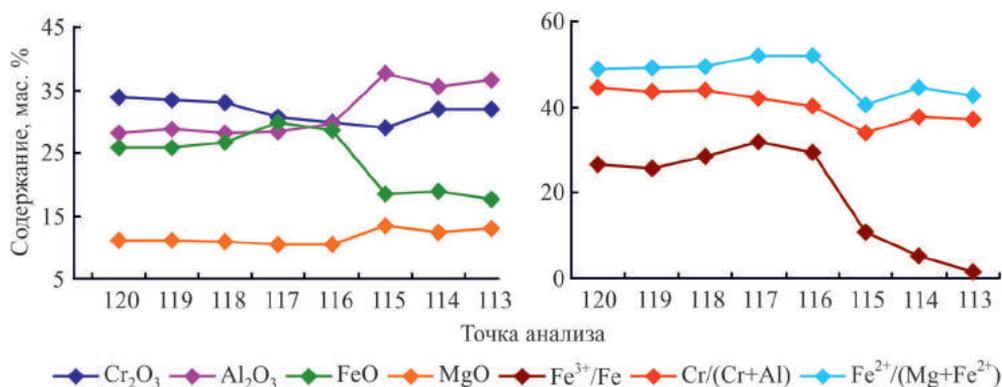
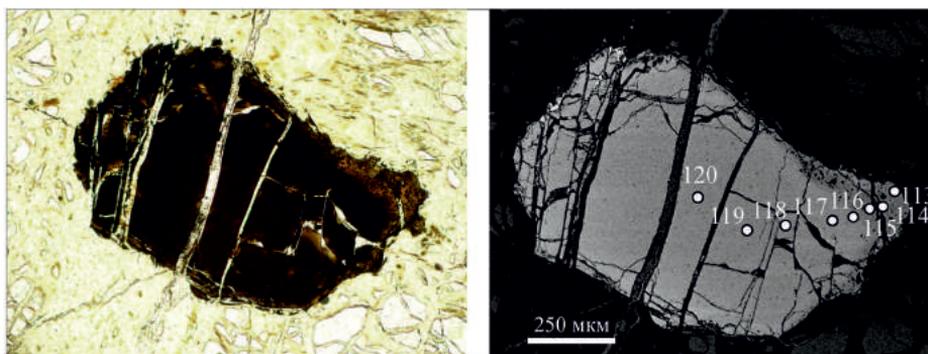


Рис. 22. Зональная хромовая шпинель в дуните.

Слева – фото в проходящем свете без анализатора, справа – BSE-изображение

Таблица 5

Химический состав хромовой шпинели (в мас. %) из дунита; руч. Безымянный

| Точка | TiO ₂ | Cr ₂ O ₃ | Al ₂ O ₃ | FeO | MgO | MnO | NiO | V ₂ O ₅ | ZnO | CoO | CaO | Сумма |
|-------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|-------|------|------|-------------------------------|------|------|------|-------|
| 113 | 0,00 | 31,42 | 35,93 | 17,27 | 12,76 | 0,09 | 0,05 | 0,26 | 0,42 | 0,18 | 0,01 | 98,39 |
| 114 | 0,13 | 31,83 | 35,35 | 18,79 | 12,40 | 0,18 | 0,03 | 0,27 | 0,45 | 0,11 | 0,01 | 99,55 |
| 115 | 0,00 | 28,66 | 37,11 | 18,24 | 13,31 | 0,18 | 0,19 | 0,35 | 0,51 | 0,00 | 0,04 | 98,59 |
| 116 | 0,27 | 29,29 | 29,10 | 28,05 | 10,21 | 0,15 | 0,28 | 0,33 | 0,33 | 0,08 | 0,00 | 98,09 |
| 117 | 0,00 | 29,90 | 27,58 | 28,92 | 10,23 | 0,19 | 0,16 | 0,24 | 0,01 | 0,00 | 0,01 | 97,24 |
| 118 | 0,05 | 32,40 | 27,72 | 26,22 | 10,76 | 0,19 | 0,15 | 0,32 | 0,37 | 0,16 | 0,01 | 98,35 |
| 119 | 0,00 | 32,47 | 28,07 | 25,13 | 10,81 | 0,15 | 0,22 | 0,27 | 0,13 | 0,02 | 0,02 | 97,29 |
| 120 | 0,06 | 33,64 | 28,06 | 25,70 | 11,08 | 0,22 | 0,21 | 0,27 | 0,20 | 0,03 | 0,00 | 99,47 |

Формульные коэффициенты в пересчете на 3 катиона

| Точка | Ti | Cr | Al | V | Fe ²⁺ | Fe ³⁺ | Mg | Ni | Mn | Zn | Co | f |
|-------|-------|-------|-------|-------|------------------|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 113 | 0,000 | 0,735 | 1,252 | 0,006 | 0,420 | 0,007 | 0,563 | 0,001 | 0,002 | 0,009 | 0,004 | 42,76 |
| 114 | 0,003 | 0,741 | 1,226 | 0,006 | 0,438 | 0,024 | 0,544 | 0,001 | 0,004 | 0,010 | 0,003 | 44,61 |
| 115 | 0,000 | 0,663 | 1,280 | 0,008 | 0,398 | 0,048 | 0,581 | 0,004 | 0,004 | 0,011 | 0,000 | 40,67 |
| 116 | 0,006 | 0,714 | 1,058 | 0,008 | 0,510 | 0,213 | 0,469 | 0,007 | 0,004 | 0,008 | 0,002 | 52,08 |
| 117 | 0,000 | 0,738 | 1,015 | 0,006 | 0,514 | 0,241 | 0,476 | 0,004 | 0,005 | 0,000 | 0,000 | 51,92 |
| 118 | 0,001 | 0,790 | 1,008 | 0,008 | 0,484 | 0,193 | 0,495 | 0,004 | 0,005 | 0,008 | 0,004 | 49,43 |
| 119 | 0,000 | 0,798 | 1,028 | 0,007 | 0,486 | 0,167 | 0,501 | 0,005 | 0,004 | 0,003 | 0,000 | 49,23 |
| 120 | 0,001 | 0,810 | 1,008 | 0,007 | 0,481 | 0,174 | 0,503 | 0,005 | 0,006 | 0,004 | 0,001 | 48,85 |

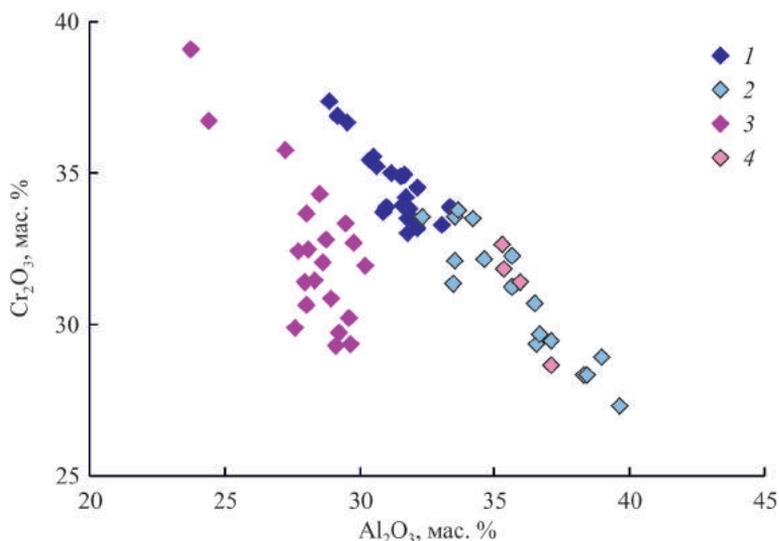


Рис. 23. Вариации состава хромовой шпинели в гарцбургите и дуните.

Хромшпинель из гарцбургита: 1 – центральные части, 2 – края зерен; из дунита: 3 – центр, 4 – край

единичными зернами клинопироксена. Железистость оливина варьирует в дуните от 9,08 до 10,03% (табл. 6); содержание оксида никеля составляет 0,29–0,46 мас. %, что несколько ниже, чем в оливине из гарцбургита.

Изучение состава и взаимоотношений минералов в несерпентинизированных гарцбургитах Войкаро-Сынынского массива (Вахрушева, 2007), позволило предполагать существование следующих парагенезисов в этих породах:

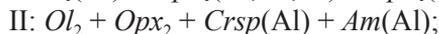
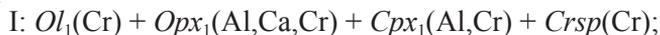


Таблица 6

Химический состав оливина (в мас. %) из дунита; руч. Безымянный

| Точка | SiO ₂ | MgO | CaO | Cr ₂ O ₃ | FeO | MnO | NiO | Al ₂ O ₃ | Na ₂ O | TiO ₂ | CoO | ZnO | Сумма |
|--|------------------|-------|-------|--------------------------------|-------|-------|-------|--------------------------------|-------------------|------------------|-------|-------|-------|
| 123 | 41,44 | 47,76 | 0,05 | 0,00 | 9,25 | 0,14 | 0,41 | 0,01 | 0,03 | 0,04 | 0,03 | 0,00 | 99,16 |
| 124 | 41,30 | 47,85 | 0,02 | 0,00 | 9,34 | 0,11 | 0,43 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,10 | 0,00 | 99,16 |
| 125 | 42,00 | 47,66 | 0,00 | 0,14 | 9,32 | 0,19 | 0,41 | 0,03 | 0,00 | 0,00 | 0,03 | 0,00 | 99,78 |
| 126 | 41,60 | 47,86 | 0,00 | 0,00 | 9,48 | 0,18 | 0,37 | 0,00 | 0,03 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 99,52 |
| 127 | 41,51 | 47,82 | 0,01 | 0,00 | 9,44 | 0,18 | 0,39 | 0,00 | 0,02 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 99,37 |
| 128 | 41,71 | 47,50 | 0,03 | 0,08 | 9,44 | 0,11 | 0,39 | 0,00 | 0,01 | 0,01 | 0,00 | 0,03 | 99,31 |
| Формульные коэффициенты в пересчете на 3 катиона | | | | | | | | | | | | | |
| Точка | Si | Mg | Ca | Cr | Fe | Mn | Ni | Al | Na | Ti | Co | Zn | f |
| 123 | 1,027 | 1,765 | 0,001 | 0,000 | 0,192 | 0,003 | 0,008 | 0,000 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,000 | 9,80 |
| 124 | 1,024 | 1,769 | 0,001 | 0,000 | 0,194 | 0,002 | 0,009 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,002 | 0,000 | 9,87 |
| 125 | 1,037 | 1,754 | 0,000 | 0,003 | 0,192 | 0,004 | 0,008 | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,000 | 9,89 |
| 126 | 1,028 | 1,763 | 0,000 | 0,000 | 0,196 | 0,004 | 0,007 | 0,000 | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 10,00 |
| 127 | 1,027 | 1,764 | 0,000 | 0,000 | 0,195 | 0,004 | 0,008 | 0,000 | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 9,97 |
| 128 | 1,034 | 1,756 | 0,001 | 0,002 | 0,196 | 0,002 | 0,008 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 10,03 |

где *Ol*-оливин; *Orx*-ортопироксен; *Cpx*-клинопироксен; *Crsp*-хромовая шпинель; *Am*-амфибол. Первый парагенезис является высокобарическим; второй формируется на фоне снижения температуры и давления в системе.

3.2. Гарцбургиты амфиболизированные, оталькованные

Среди ультрамафитов массива Рай-Из, в отличие от Войкаро-Сыньинского, амфиболизированные, оталькованные гарцбургиты развиты менее широко, в основном на контакте гарцбургитов и метаморфических ассоциаций – амфибол-энстатит-оливиновых, тальк-амфибол-оливиновых и амфибол-оливин-антигоритовых пород.

Породы с порфиrokластической структурой. Порфиrokласты представлены энстатитом, по которому развиваются амфибол, тальк и оливин. Если для амфиболизированных гарцбургитов Войкаро-Сыньинского массива характерен мелкозернистый агрегат зерен амфибола и талька, образующий псевдоморфозы по энстатиту, то для амфиболизированных гарцбургитов массива Рай-Из обычно развитие субидiomорфных амфибола и талька по энстатиту (рис. 24). Причем в пределах одного обнажения амфиболизированные гарцбург-

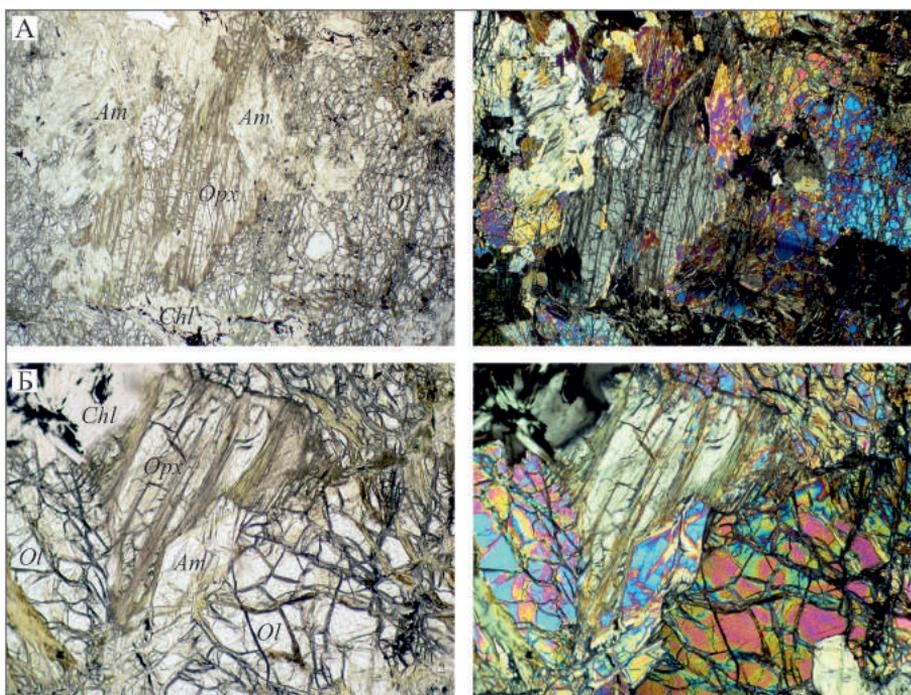


Рис. 24. Развитие амфибол-оливиновой породы по гарцбургиту; верховья р. Сось, правый борт (северная часть массива).

А – развитие амфибола по энстатиту, Б – замещение энстатита оливином и амфиболом. Слева – без анализатора, справа – с анализатором. Увеличение 100 \times (1 мм по ширине кадра).
Ol – оливин, *Orx* – энстатит, *Chl* – хлорит, *Am* – амфибол

Таблица 7

Химический состав амфибола (в мас. %) из амфиболизированного гарцбургита; руч. Безьянный

| Точка | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Cr ₂ O ₃ | FeO | MgO | MnO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | Сумма |
|---|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------|-------|-------|-------|-------------------|------------------|-------|
| 31 | 55,41 | 0,15 | 3,24 | 0,32 | 1,70 | 22,20 | 0,00 | 13,34 | 0,59 | 0,04 | 96,99 |
| 173 | 57,57 | 0,00 | 0,91 | 0,28 | 1,29 | 23,02 | 0,00 | 13,64 | 0,12 | 0,04 | 96,87 |
| 33 | 57,31 | 0,00 | 1,38 | 0,35 | 1,57 | 23,07 | 0,00 | 13,42 | 0,22 | 0,01 | 97,33 |
| 34 | 56,59 | 0,00 | 2,45 | 0,62 | 1,87 | 22,72 | 0,02 | 13,53 | 0,44 | 0,01 | 98,25 |
| 35 | 56,08 | 0,11 | 2,68 | 0,84 | 1,76 | 22,21 | 0,13 | 12,76 | 0,45 | 0,02 | 97,04 |
| 36 | 56,65 | 0,09 | 2,29 | 0,85 | 1,87 | 22,85 | 0,15 | 12,98 | 0,35 | 0,03 | 98,11 |
| 150 | 50,47 | 0,37 | 7,40 | 0,47 | 2,35 | 20,36 | 0,00 | 12,98 | 1,57 | 0,05 | 96,02 |
| 151 | 57,34 | 0,00 | 0,21 | 0,00 | 1,53 | 22,97 | 0,06 | 13,67 | 0,06 | 0,01 | 95,85 |
| Формульные коэффициенты в пересчете на 23 атома кислорода | | | | | | | | | | | |
| Точка | Si | Ti | Al | Al ^{IV} | Al ^{VI} | Cr | Fe | Mg | Mn | Ca | Na |
| 31 | 7,652 | 0,016 | 0,527 | 0,348 | 0,179 | 0,035 | 0,196 | 4,570 | 0,000 | 1,974 | 0,158 |
| 173 | 7,918 | 0,000 | 0,148 | 0,082 | 0,065 | 0,030 | 0,148 | 4,720 | 0,000 | 2,010 | 0,032 |
| 33 | 7,856 | 0,000 | 0,223 | 0,144 | 0,079 | 0,038 | 0,180 | 4,715 | 0,000 | 1,971 | 0,058 |
| 34 | 7,719 | 0,000 | 0,394 | 0,281 | 0,113 | 0,067 | 0,213 | 4,620 | 0,002 | 1,977 | 0,116 |
| 35 | 7,730 | 0,011 | 0,435 | 0,270 | 0,165 | 0,092 | 0,203 | 4,564 | 0,015 | 1,884 | 0,120 |
| 36 | 7,732 | 0,009 | 0,368 | 0,268 | 0,100 | 0,092 | 0,213 | 4,649 | 0,017 | 1,898 | 0,093 |
| 150 | 7,125 | 0,039 | 1,231 | 0,875 | 0,357 | 0,052 | 0,277 | 4,285 | 0,000 | 1,963 | 0,430 |
| 151 | 7,977 | 0,000 | 0,034 | 0,023 | 0,011 | 0,000 | 0,178 | 4,764 | 0,007 | 2,037 | 0,016 |

гиты могут сменяться апогарцбургитовыми амфибол-энстатит-оливиновыми или тальк-амфибол-оливиновыми породами, представляя собой реликты исходного гарцбургита.

Хромшпинелид интенсивно хлоритизирован и практически не сохраняется, замещаясь хлорит-хроммагнетитовым агрегатом. Хроммагнетит скелетный, окружен мощной хлоритовой «рубашкой». Довольно часто, иногда в пределах одного шлифа, можно наблюдать переотложение оксидной фазы – «исчезающий» шпинелид в хлоритовой массе переотлагается в мелкие (первые десятки доли миллиметра) идиоморфные кристаллики хроммагнетита, образующие цепочки по границам зерен силикатов, располагаясь, как правило, согласно с директивностью/рассланцеванием породы.

Амфибол по составу соответствует как эдениту, так и тремолиту (табл. 7). В амфиболизированных гарцбургитах нередко появляются пластинчатый антигорит и клинохлор лейстовидной формы. Встречаются зональные антигорит-хлоритовые индивиды – центральная часть лейсты сложена хлоритом, периферия – антигоритом, что отчетливо видно под микроскопом по аномальной интерференционной окраске.

3.3. Энстатит-оливиновые, амфибол-энстатит-оливиновые породы

Впервые пойкилобласты энстатита, как метаморфические образования, в ультрамафитах Рай-Иза описаны А.Н. Заварицким (1932). Детально освещены

и вещественно охарактеризованы оливин-энстатитовые и энстатит-оливиновые породы И.С. Чашухиным (Чашухин и др., 1986; Строение..., 1990).

Наиболее эффектными и структурно отличными от гарцбургитов являются энстатит-оливиновые породы, ассоциирующие с сагвандитами в Центральной зоне метаморфизма (внутренняя зона по И.С. Чашухину). Пойкилобласты энстатита, достигающие 2–3 см по удлинению (рис. 25) или слагающие радиально-лучистые агрегаты (см. рис. 10, глава 2), рельефно выделяются на корке выветривания и погружены в гранобластовый агрегат оливина, чаще полигонально-зернистой структуры. По границам зерен оливина, как правило, развиты лейсты клинохлора (рис. 26) и идиобласты тремолита. Соотношение оливина/форстерита и ортопироксена/энстатита в породах различно; нередко энстатит преобладает. Амфибол – тремолит, практически всегда присутствует в породе в том или ином количестве, достигая 10–15%.

Подобные породы, так называемые «хлоритовые гарцбургиты», описаны в юго-западных Альпах (Trommsdorff et al., 1998; Garrido et al., 2005; Lopez Sanchez-Vizcaino et al., 2005; и др.). Породы интерпретируются авторами, как продукты высокобарического метаморфизма антигоритовых серпентинитов.

Энстатит-оливиновые породы «внешней зоны» (по И.С. Чашухину), широко развитые в южной, юго-западной, а также, фрагментарно, в северо-западной части массива, представляют собой светло-зеленую, очень слабо серпентинизированную породу с зеленовато-серой ямчатой коркой выветривания (см. рис. 25, справа).

В ультрамафитах, вмещающих хромовое оруденение на месторождении Центральное, Западное, рудопроявлениях 214, Юго-Западное-IV и др. в энстатит-оливиновых породах и связанных с ними пространственно пегматоидных дунитах отчетливо устанавливаются следы динамической перекристаллизации минералов. В энстатит-оливиновых породах проявляются линейные зоны рекристаллизации (см. главу 2, рис. 11, 13), с образованием мелкозер-



Рис. 25. Энстатит-оливиновая порода.

Слева – Центральная зона метаморфизма, р. Левая Макар-Рузь; справа – «внешняя» зона, руч. Визувшор

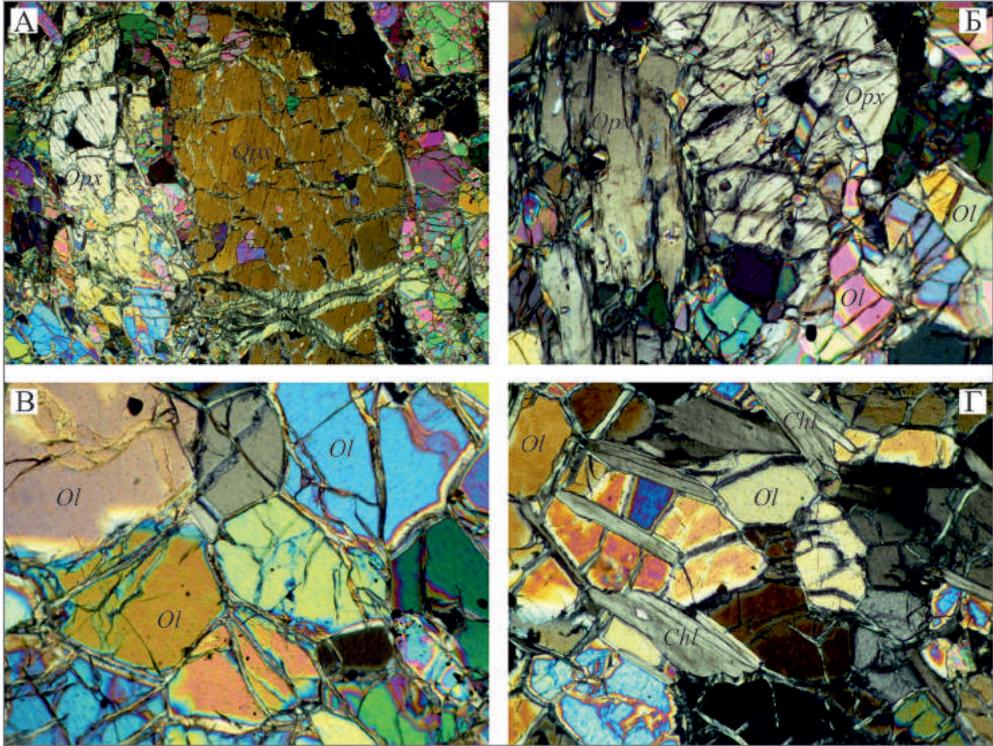


Рис. 26. Энстатит-оливиновая порода пойкилобластовой структуры.

Вверху – порфиробласты энстатита с пойкилитовыми вросками оливина, хроммагнетита; внизу – оливиновый (слева) и хлорит-оливиновый матрикс. С анализатором: вверху увеличение $25\times$ (4 мм по ширине кадра), внизу увеличение $100\times$ (1 мм по ширине кадра).

Ol – оливин; *Orx* – энстатит; *Chl* – хлорит

нистого агрегата тех же минералов – энстатита, оливина, амфибола и хлорита, а также хроммагнетита. В пегматоидных дунитах зонки рекристаллизации оливина образуют сетку в гигантозернистом оливине, нередко совпадающую с плоскостями отдельности.

Состав энстатита в порфиробластах и необластах близок (табл. 8); зональность в минерале не выявлена; содержание примесей – кальция, алюминия и хрома – ничтожны. Железистость энстатита составляет 6,57–7,47%, не отличающаяся в порфиробластах и необластах.

Оливин также в результате рекристаллизации практически не меняет свой состав: вариации железистости и содержания микропримесей незначительны (табл. 9).

Амфибол, встречающийся в мелкозернистом агрегате, соответствует низкоглиноземистому тремолиту, хлорит – клинохлору.

Состав шпинелида соответствует хроммагнетиту с содержанием алюминия – 0,03–0,05 формульных единиц, магния – 0,19–0,22 ф.е. Состав и необычная зональность минерала детально рассмотрены в главе 7.

Таблица 8

Химический состав энстатита (в мас. %) из энстатит-оливиновой породы (штольня 480 м, месторождение Центральное)

| Зерно/точка | SiO ₂ | MgO | CaO | Cr ₂ O ₃ | FeO | MnO | NiO | Al ₂ O ₃ | Na ₂ O | K ₂ O | Сумма |
|--|------------------|-------|-------|--------------------------------|-------|-------|-------|--------------------------------|-------------------|------------------|-------|
| 1-18 | 57,78 | 35,88 | 0,12 | 0,13 | 4,92 | 0,14 | 0,07 | 0,23 | 0,01 | 0,00 | 99,29 |
| 1-19 | 58,07 | 35,81 | 0,12 | 0,02 | 5,10 | 0,12 | 0,10 | 0,23 | 0,00 | 0,00 | 99,57 |
| 1-20 | 57,41 | 36,38 | 0,11 | 0,00 | 5,07 | 0,19 | 0,06 | 0,25 | 0,00 | 0,01 | 99,48 |
| 2-16 | 57,04 | 36,15 | 0,09 | 0,01 | 4,53 | 0,15 | 0,16 | 0,16 | 0,01 | 0,01 | 98,31 |
| 2-17 | 58,37 | 35,61 | 0,11 | 0,09 | 5,05 | 0,08 | 0,14 | 0,23 | 0,00 | 0,00 | 99,68 |
| 3а-39 | 57,92 | 36,05 | 0,11 | 0,05 | 5,03 | 0,08 | 0,09 | 0,13 | 0,00 | 0,01 | 99,48 |
| 3а-40 | 58,11 | 35,99 | 0,06 | 0,00 | 4,91 | 0,17 | 0,01 | 0,03 | 0,01 | 0,01 | 99,30 |
| 3б-41 | 57,07 | 35,76 | 0,12 | 0,00 | 4,96 | 0,19 | 0,13 | 0,17 | 0,00 | 0,00 | 98,40 |
| 3б-42 | 58,30 | 36,00 | 0,09 | 0,08 | 4,88 | 0,11 | 0,06 | 0,19 | 0,00 | 0,01 | 99,72 |
| Формульные коэффициенты в пересчете на 4 катиона | | | | | | | | | | | |
| Зерно/точка | Si | Mg | Ca | Cr | Fe | Mn | Ni | Al | Na | K | f |
| 1-18 | 1,991 | 1,843 | 0,004 | 0,004 | 0,142 | 0,004 | 0,002 | 0,009 | 0,001 | 0,000 | 7,14 |
| 1-19 | 1,997 | 1,836 | 0,004 | 0,001 | 0,147 | 0,003 | 0,003 | 0,009 | 0,000 | 0,000 | 7,40 |
| 1-20 | 1,971 | 1,862 | 0,004 | 0,000 | 0,146 | 0,006 | 0,002 | 0,010 | 0,000 | 0,000 | 7,25 |
| 2-16 | 1,979 | 1,870 | 0,003 | 0,000 | 0,131 | 0,004 | 0,004 | 0,007 | 0,001 | 0,000 | 6,57 |
| 2-17 | 2,007 | 1,825 | 0,004 | 0,002 | 0,145 | 0,002 | 0,004 | 0,009 | 0,000 | 0,000 | 7,37 |
| 3а-39 | 1,991 | 1,848 | 0,004 | 0,001 | 0,145 | 0,002 | 0,002 | 0,005 | 0,000 | 0,000 | 7,26 |
| 3а-40 | 2,001 | 1,848 | 0,002 | 0,000 | 0,141 | 0,005 | 0,000 | 0,001 | 0,001 | 0,000 | 7,11 |
| 3б-41 | 1,983 | 1,852 | 0,004 | 0,000 | 0,144 | 0,006 | 0,004 | 0,007 | 0,000 | 0,000 | 7,22 |
| 3б-42 | 2,000 | 1,841 | 0,003 | 0,002 | 0,140 | 0,003 | 0,002 | 0,008 | 0,000 | 0,000 | 7,07 |

Примечание. 1 – порфиробласт: 20 – центр, 19 – периферия, 18 – край; 2 – необласт: 16 – центр, 17 – край; 4 – необласт; 3а – необласт: 39 – центр, 40 – край; 3б – необласт: 41 – центр, 42 – край.

Таблица 9

Химический состав оливина (в мас. %) из энстатит-оливиновой породы (штольня 480 м, месторождение Центральное)

| Зерно/точка | SiO ₂ | MgO | CaO | FeO | MnO | NiO | Al ₂ O ₃ | Сумма |
|--|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------------------------|-------|
| 1-1_с | 40,19 | 50,60 | 0,01 | 7,82 | 0,20 | 0,35 | 0,00 | 99,20 |
| 1-2_к | 39,50 | 50,68 | 0,00 | 7,92 | 0,11 | 0,32 | 0,01 | 98,54 |
| 1-3_к | 39,49 | 50,74 | 0,01 | 8,01 | 0,00 | 0,44 | 0,00 | 98,70 |
| 2-12_к | 40,23 | 50,29 | 0,00 | 7,60 | 0,06 | 0,40 | 0,01 | 98,65 |
| 2-13_с | 39,81 | 50,47 | 0,00 | 7,55 | 0,05 | 0,37 | 0,00 | 98,25 |
| 3-10_с | 40,23 | 50,50 | 0,00 | 7,81 | 0,14 | 0,41 | 0,00 | 99,09 |
| 3-11_к | 40,35 | 50,90 | 0,01 | 7,88 | 0,14 | 0,24 | 0,00 | 99,54 |
| 4-4_с | 40,11 | 50,60 | 0,01 | 7,55 | 0,11 | 0,27 | 0,00 | 98,72 |
| 4-5_к | 40,37 | 50,29 | 0,01 | 7,57 | 0,01 | 0,31 | 0,00 | 98,63 |
| Формульные коэффициенты в пересчете на 3 катиона | | | | | | | | |
| Зерно/точка | Si | Mg | Ca | Fe | Mn | Ni | Al | f |
| 1-1_с | 0,983 | 1,845 | 0,000 | 0,160 | 0,004 | 0,007 | 0,000 | 7,98 |
| 1-2_к | 0,971 | 1,857 | 0,000 | 0,163 | 0,002 | 0,006 | 0,000 | 8,06 |
| 1-3_к | 0,969 | 1,857 | 0,000 | 0,164 | 0,000 | 0,009 | 0,000 | 8,14 |
| 2-12_к | 0,989 | 1,844 | 0,000 | 0,156 | 0,001 | 0,008 | 0,000 | 7,82 |
| 2-13_с | 0,981 | 1,855 | 0,000 | 0,156 | 0,001 | 0,007 | 0,000 | 7,74 |
| 3-10_с | 0,985 | 1,844 | 0,000 | 0,160 | 0,003 | 0,008 | 0,000 | 7,98 |
| 3-11_к | 0,983 | 1,848 | 0,000 | 0,161 | 0,003 | 0,005 | 0,000 | 7,99 |
| 4-4_с | 0,989 | 1,859 | 0,000 | 0,156 | 0,002 | 0,005 | 0,000 | 7,72 |
| 4-5_к | 0,995 | 1,847 | 0,000 | 0,156 | 0,000 | 0,006 | 0,000 | 7,79 |

Примечание. 1 – крупное зерно: 1 – центр, 2 – периферия, 3 – край; 2 – крупное зерно: 12 – край, 13 – центр; 3 – необласт: 10 – центр, 11 – край; 4 – необласт: 4 – центр; 5 – край.

3.4. Амфибол-оливиновые породы

Амфибол-оливиновые породы на массиве Рай-Из наиболее широко представлены в восточной и юго-восточной частях массива, развиваясь на контакте энстатит-оливиновых и амфибол-оливин-антигоритовых пород (см. главу 2, рис. 17).

Амфибол-оливиновые породы средне-крупнозернистые, как правило, с порфиробластовой структурой. Зерна амфибола иногда в несколько раз по размеру превышают зерна оливина, достигая по удлинению 1 см и более. В то же время, нередко встречаются и равномернозернистые разновидности амфибол-оливиновых агрегатов. Амфибол практически всегда идиоморфный (рис. 27). В ассоциации постоянно в том или ином количестве присутствуют клинохлор, образующий удлиненные пластинки (лейсты) по границам зерен оливина, и антигорит.

Количество амфибола в породе определяется содержанием кальция, поскольку бескальциевых амфиболов ни в одном из типов пород нами не встречено.

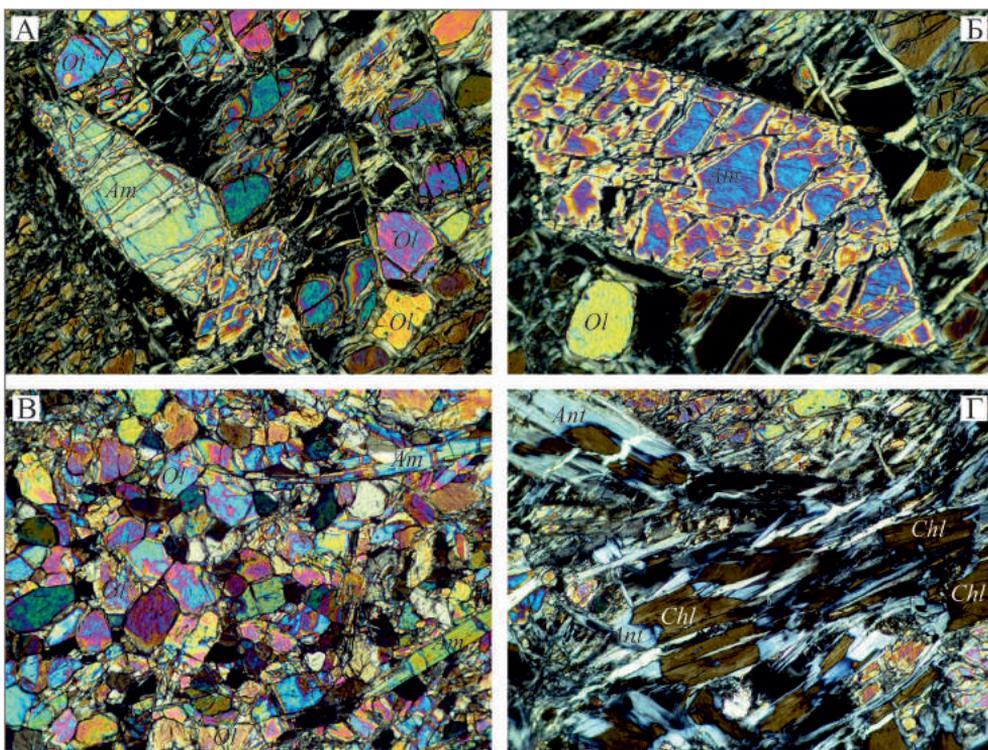


Рис. 27. Амфибол-оливиновая порода с хлоритом/антигоритом.

А, Б – идиобласты тремолита в оливиновом базисе, В – полигональнозернистый агрегат оливина с призматическими зернами тремолита, Г – зональные хлорит-антигоритовые лейсты.
С анализатором, увеличение 100 \times (1 мм по ширине кадра).
Ol – оливин, *Am* – амфибол, *Chl* – хлорит, *Ant* – антигорит

Оливины из амфибол-оливиновых пород представляют собой гранобластовый агрегат, в котором сохраняются участки реликтовых зерен, более крупных, с извилистыми границами. В зернах оливина довольно часто проявлена спайность, которая наблюдается и в реликтовых зернах с деформационными полисинтетическими двойниками и/или волнистым угасанием.

Железистость оливина в амфибол-оливиновых породах изменяется от 8,86 до 9,46%. Содержание оксида никеля в минерале практически постоянно и составляет 0,41–0,45 мас. %.

Амфибол в амфибол-оливиновых породах Рай-Иза соответствует алюминийсодержащему тремолиту с относительно высоким содержанием NaO (1,06–1,23 мас. %). В зернах амфибола проявлена зональность, выраженная в снижении алюминия, натрия и хрома, и некоторого возрастания железа к краю зерна. В амфиболе обычны ламели хроммагнетита, соответствующие по составу аксессуарному шпинелиду в породе.

Состав аксессуарной хромшпинели изменяется от субферриалюмохромита до хроммагнетита. Шпинелид нередко образует сростания с хлоритом.

3.5. Оливин-антигоритовые, амфибол-оливин-антигоритовые породы

Массивные оливин-антигоритовые и амфибол-оливин-антигоритовые породы – войкариты, так широко развитые на Войкаро-Сыньинском массиве, в пределах массива Рай-Из имеют существенно меньшее распространение.

Массивные оливин-антигоритовые породы отличаются характерной полигональнозернистой структурой (рис. 28). В них не сохраняются реликты первичных структур. В оливине проявлена спайность, как правило, по плоскости [010], по которой развиваются пластинки антигорита, придающего породе характерную голубовато-серую окраску на свежем сколе. В отдельных случаях наблюдается развитие антигорита и по иным кристаллографическим направлениям (см. рис. 28).

Породы, фиксирующие тектонизированные зоны, образуют оливин-антигоритовые (войкаритовые) сланцы. Сланцеватость обусловлена ориентированным расположением пластинок антигорита и микрозернистого агрегата оливина. В сланцеватой массе сохраняются реликты – «будинки» крупного оливина (см. рис. 28).

В рассланцованной оливин-антигоритовой массе хромовая шпинель, как правило, не сохраняется, полностью замещаясь хроммагнетитом и магнетитом. В массивных оливин-антигоритовых породах аксессуарный шпинелид по составу соответствует субферриалюмохромиту. Вокруг зерен хромшпинелида обычны хлоритовые каймы.

Повышенная железистость оливина из оливин-антигоритовых пород отмечена И.С. Чашухиным (1986).

Состав антигорита довольно сильно варьирует по содержанию алюминия и железистости, иногда приближаясь к хлориту, что нередко видно и при микроскопическом исследовании.

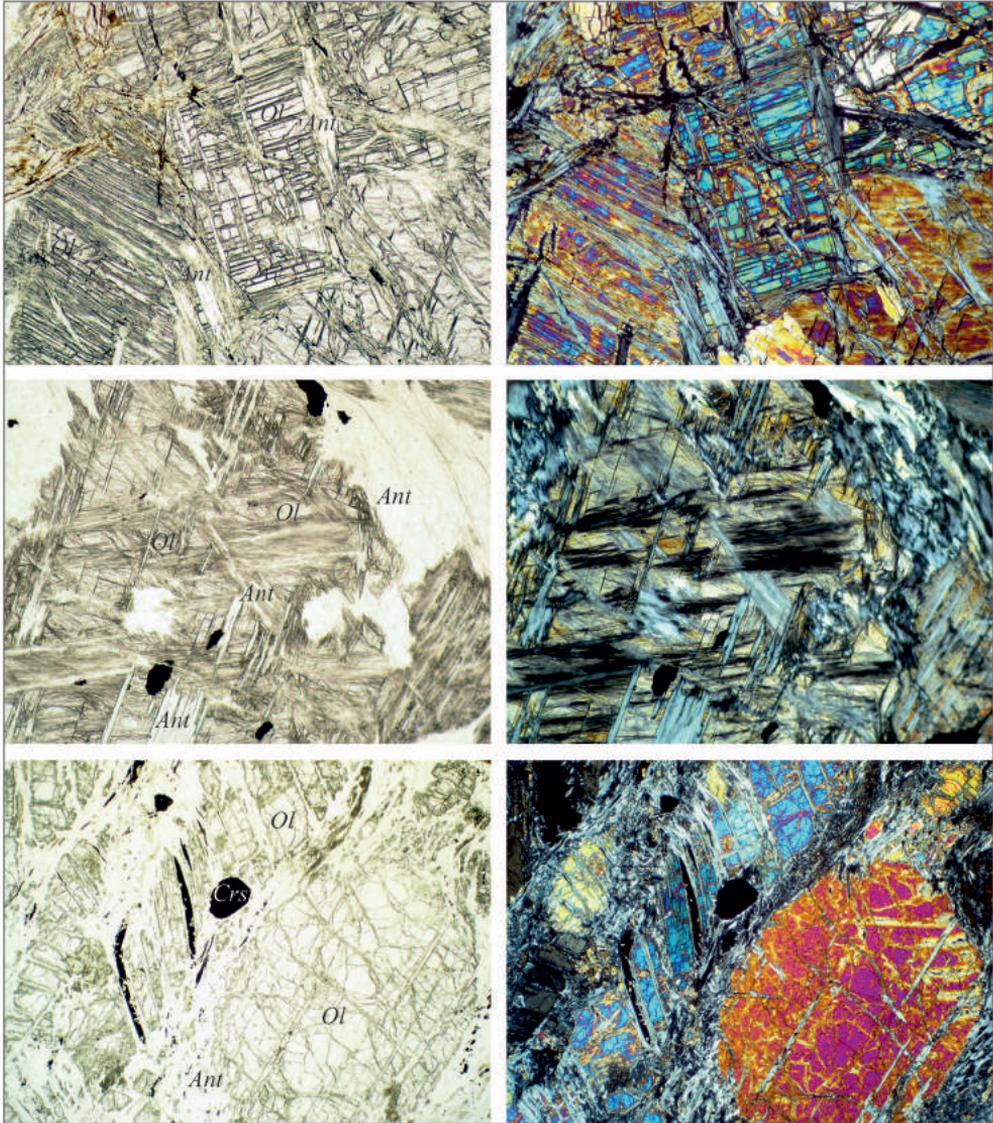


Рис. 28. Оливин-антигоритовые породы.

Слева – без анализатора, справа – с анализатором, увеличение 100[×] (1 мм по ширине кадра).
Ol – оливин, *Ant* – антигорит, *Crsp* – хромовая шпинель

Оливин-антигоритовые породы практически всегда содержат некоторое количество тремолита или новообразованного диопсида. Диопсид из оливин-антигоритовых пород описан И.С. Чашухиным (1986). Новообразованный диопсид характерен в основном для оливин-антигоритовых сланцев.

3.6. Тальк-амфибол-оливиновые породы

Ассоциация оливин + тальк + тремолит + клинохлор + магнетит выделена И.С. Чашухиным на массиве Рай-Из, как продукт второго этапа поздней стадии метаморфизма (Чашухин и др., 1986; Строение..., 1990): «Тальк-оливиновые породы образуются по магнезиокуммингтонит-оливиновым и практически всегда содержат реликты магнезиокуммингтонита. При этом тальком обрастают зерна амфибола, псевдоморфозы образуются редко... Ассоциация оливин + тальк + тремолит + пеннин + магнетит образуется во внешней кайме тальк-оливиновых пород по петельчато-серпентинизированным гарцбургитам. Первичная структура пород сохраняется».

По нашим наблюдениям, образование существенно тальковых пород действительно процесс более поздний, чем формирование энстатит-оливиновых и амфибол-энстатит-оливиновых пород. Он захватил не только восточную и юго-восточную часть массива, слагая так называемую Иашорскую зону расланцевания (см. главу 2, рис. 17), но и к северу от области развития энстатит-оливиновых пород также проявился, хотя и более локально. При этом полная перекристаллизация пород происходит крайне редко. Обрастание тальком амфибола наблюдается в шлифах, и мы исследовали состав минералов тальк-амфибол-оливиновых пород, в том числе и амфибола микрозондовым анализом (рис. 29, табл. 10).

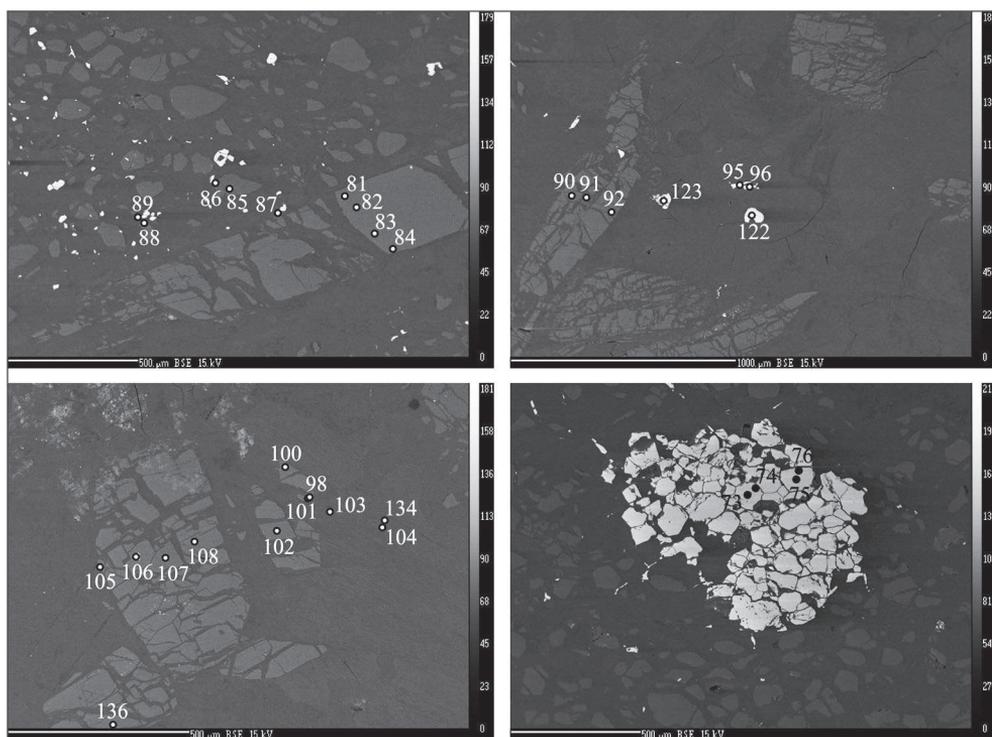


Рис. 29. Амфибол-тальк-оливиновая порода; левый борт р. Енга-Ю.

ВСЕ-изображение. Показаны точки анализа амфибола и хроммагнетита (см. табл. 10, 11)

Таблица 10

Химический состав амфибола (мас. %) из тальк-амфибол-оливиновой породы; левый борт р. Енга-Ю

| Точка | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Cr ₂ O ₃ | FeO | MgO | MnO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | Сумма |
|---|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------------------|------------------|-------|
| 81 | 57,97 | 0,04 | 0,20 | 0,03 | 1,08 | 24,59 | 0,08 | 12,80 | 0,14 | 0,08 | 97,06 |
| 82 | 58,23 | 0,00 | 0,16 | 0,06 | 0,99 | 24,11 | 0,03 | 12,84 | 0,12 | 0,10 | 96,65 |
| 83 | 58,01 | 0,09 | 0,15 | 0,03 | 0,73 | 24,13 | 0,03 | 12,84 | 0,14 | 0,06 | 96,21 |
| 84 | 57,80 | 0,00 | 0,15 | 0,04 | 1,09 | 24,35 | 0,08 | 12,65 | 0,13 | 0,08 | 96,42 |
| 90 | 58,09 | 0,07 | 0,18 | 0,00 | 0,88 | 24,38 | 0,03 | 12,84 | 0,13 | 0,09 | 96,88 |
| 91 | 58,06 | 0,15 | 0,14 | 0,11 | 0,95 | 24,43 | 0,07 | 12,52 | 0,19 | 0,08 | 96,70 |
| 92 | 58,00 | 0,09 | 0,16 | 0,00 | 1,26 | 24,60 | 0,10 | 12,99 | 0,19 | 0,10 | 97,54 |
| 100 | 59,23 | 0,00 | 0,15 | 0,02 | 0,70 | 24,17 | 0,05 | 12,53 | 0,32 | 0,04 | 97,21 |
| 102 | 57,62 | 0,00 | 0,32 | 0,14 | 0,94 | 24,36 | 0,05 | 12,23 | 0,39 | 0,02 | 96,14 |
| 106 | 58,25 | 0,07 | 0,15 | 0,00 | 0,95 | 24,21 | 0,14 | 12,76 | 0,22 | 0,07 | 96,84 |
| 107 | 58,62 | 0,04 | 0,17 | 0,00 | 0,87 | 24,44 | 0,10 | 12,81 | 0,20 | 0,10 | 97,36 |
| 108 | 58,01 | 0,00 | 0,20 | 0,00 | 1,13 | 24,31 | 0,00 | 12,68 | 0,16 | 0,07 | 96,56 |
| 135 | 58,81 | 0,00 | 0,21 | 0,02 | 1,05 | 24,01 | 0,09 | 12,62 | 0,29 | 0,06 | 97,17 |
| 136 | 58,88 | 0,04 | 0,20 | 0,03 | 1,18 | 24,39 | 0,09 | 12,61 | 0,34 | 0,05 | 97,88 |
| Формульные коэффициенты в пересчете на 23 атома кислорода | | | | | | | | | | | |
| Точка | Si | Ti | Al ^{IV} | Al ^{VI} | Cr | Fe | Mg | Mn | Ca | Na | K |
| 81 | 7,940 | 0,004 | 0,032 | 0,000 | 0,003 | 0,124 | 5,021 | 0,009 | 1,878 | 0,037 | 0,014 |
| 82 | 7,994 | 0,000 | 0,006 | 0,019 | 0,007 | 0,114 | 4,934 | 0,003 | 1,888 | 0,032 | 0,018 |
| 83 | 7,990 | 0,009 | 0,010 | 0,014 | 0,003 | 0,084 | 4,954 | 0,003 | 1,895 | 0,037 | 0,011 |
| 84 | 7,964 | 0,000 | 0,024 | 0,000 | 0,004 | 0,126 | 5,002 | 0,009 | 1,867 | 0,035 | 0,014 |
| 90 | 7,969 | 0,007 | 0,029 | 0,000 | 0,000 | 0,101 | 4,986 | 0,003 | 1,887 | 0,035 | 0,016 |
| 91 | 7,966 | 0,015 | 0,023 | 0,000 | 0,012 | 0,109 | 4,996 | 0,008 | 1,840 | 0,051 | 0,014 |
| 92 | 7,922 | 0,009 | 0,026 | 0,000 | 0,000 | 0,144 | 5,009 | 0,012 | 1,901 | 0,050 | 0,017 |
| 100 | 8,053 | 0,000 | 0,000 | 0,024 | 0,002 | 0,080 | 4,899 | 0,006 | 1,825 | 0,084 | 0,007 |
| 102 | 7,954 | 0,000 | 0,046 | 0,006 | 0,015 | 0,109 | 5,013 | 0,006 | 1,809 | 0,104 | 0,004 |
| 106 | 7,940 | 0,023 | 0,010 | 0,000 | 0,009 | 0,116 | 6,915 | 0,002 | 0,003 | 0,019 | 0,002 |
| 107 | 7,984 | 0,007 | 0,016 | 0,008 | 0,000 | 0,109 | 4,947 | 0,016 | 1,874 | 0,058 | 0,012 |
| 108 | 7,986 | 0,004 | 0,014 | 0,013 | 0,000 | 0,099 | 4,963 | 0,012 | 1,870 | 0,053 | 0,017 |
| 135 | 7,973 | 0,000 | 0,027 | 0,005 | 0,000 | 0,130 | 4,981 | 0,000 | 1,867 | 0,043 | 0,012 |
| 136 | 8,023 | 0,000 | 0,000 | 0,034 | 0,002 | 0,120 | 4,883 | 0,010 | 1,844 | 0,077 | 0,010 |

Исследование состава амфибола на микронзондовом анализаторе, а также и просто микроскопическое исследование нескольких сотен шлифов, не выявило куммингтонита ни в одной из пород. Как видно из таблицы 10, все анализы соответствуют предельно низкоглиноземистому тремолиту, который отличается от тремолита гарцбургитов и энстатит-оливиновых пород чуть повышенным, но значимым содержанием калия.

Шпинелид также отличается по составу от хромовой шпинели энстатит-оливиновых и амфибол-оливиновых пород высокой степенью окисленности железа, практически полным отсутствием алюминия и невысоким содержанием хрома и магния (табл. 11). Минерал является хромсодержащим магнетитом.

Железистость оливина предельно низкая среди метавулканических пород массива Рай-Из и составляет 4,5–5,4%.

Мы наблюдали развитие тальк-амфибол-оливиновых пород как по гарцбургитам и ассоциирующим с ними дунитам в восточной части массива, так и по энстатит-оливиновым породам в северо-восточной (см. рис. 6 А, глава 2), а также и в юго-западной частях массива.

Таблица 11

Химический состав хромовой шпинели (в мас. %) из тальк-амфибол-оливиновой породы; левый борт р. Енга-Ю

| Точка | TiO ₂ | Cr ₂ O ₃ | Al ₂ O ₃ | FeO | Fe ₂ O ₃ * | MgO | MnO | NiO | V ₂ O ₃ | ZnO | CoO | CaO | Сумма |
|-------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|----------------------------------|------|------|------|-------------------------------|------|------|------|--------|
| 73 | 0,06 | 8,33 | 0,11 | 26,52 | 61,76 | 2,39 | 0,3 | 0,85 | 0,09 | 0,06 | 0 | 0,02 | 100,50 |
| 74 | 0,03 | 7,80 | 0,08 | 26,16 | 61,72 | 2,55 | 0,24 | 0,9 | 0,09 | 0 | 0,03 | 0,01 | 99,66 |
| 75 | 0,05 | 8,17 | 0,08 | 25,67 | 61,28 | 2,57 | 0,35 | 0,92 | 0,14 | 0,17 | 0,01 | 0 | 99,40 |
| 76 | 0,02 | 8,05 | 0,05 | 26,49 | 62,12 | 2,33 | 0,34 | 0,84 | 0,06 | 0,06 | 0 | 0 | 100,36 |
| 87 | 0,03 | 7,39 | 0,11 | 26,40 | 61,19 | 2,07 | 0,19 | 1,00 | 0,11 | 0 | 0,06 | 0,05 | 98,58 |
| 88 | 0,08 | 7,17 | 0,04 | 26,76 | 62,02 | 2,06 | 0,22 | 0,98 | 0,15 | 0 | 0,04 | 0,01 | 99,51 |
| 89 | 0,01 | 6,58 | 0,04 | 26,61 | 62,76 | 2,04 | 0,22 | 0,94 | 0,11 | 0,08 | 0,13 | 0 | 99,40 |
| 95 | 0,15 | 17,89 | 0,14 | 26,30 | 50,93 | 2,16 | 0,5 | 0,91 | 0,13 | 0,3 | 0 | 0 | 99,41 |

Формульные коэффициенты в пересчете на 3 катиона

| Точка | Ti | Cr | Al | V | Fe ²⁺ | Fe ³⁺ | Mg | Ni | Mn | Zn | Co | Ca | f |
|-------|-------|-------|-------|-------|------------------|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 73 | 0,002 | 0,247 | 0,005 | 0,003 | 0,829 | 1,744 | 0,134 | 0,026 | 0,010 | 0,002 | 0,000 | 0,001 | 86,13 |
| 74 | 0,001 | 0,233 | 0,004 | 0,003 | 0,820 | 1,760 | 0,144 | 0,027 | 0,008 | 0,000 | 0,001 | 0,000 | 85,10 |
| 75 | 0,001 | 0,244 | 0,004 | 0,004 | 0,811 | 1,746 | 0,145 | 0,028 | 0,011 | 0,005 | 0,000 | 0,000 | 84,83 |
| 76 | 0,001 | 0,239 | 0,002 | 0,002 | 0,832 | 1,756 | 0,130 | 0,025 | 0,011 | 0,002 | 0,000 | 0,000 | 86,44 |
| 87 | 0,001 | 0,224 | 0,005 | 0,003 | 0,841 | 1,767 | 0,118 | 0,031 | 0,006 | 0,000 | 0,002 | 0,002 | 87,68 |
| 88 | 0,002 | 0,215 | 0,002 | 0,005 | 0,845 | 1,776 | 0,117 | 0,030 | 0,007 | 0,000 | 0,001 | 0,000 | 87,88 |
| 89 | 0,000 | 0,198 | 0,002 | 0,003 | 0,842 | 1,797 | 0,116 | 0,029 | 0,007 | 0,002 | 0,004 | 0,000 | 87,94 |
| 95 | 0,004 | 0,534 | 0,006 | 0,004 | 0,826 | 1,451 | 0,122 | 0,028 | 0,016 | 0,008 | 0,000 | 0,000 | 87,17 |

*FeO и Fe₂O₃ рассчитано по стехиометрии.

Мощный процесс оталькования, связанный с Иашорской зоной расланцевания, затронувший как ранние гарцбургиты, так и метаультрамафиты юго-восточной и восточной частей массива Рай-Из, является не изохимическим и неравновесным.

3.7. Последовательность минералообразования в ультрамафитах массива Рай-Из при метаморфизме

И.С. Чашухин (1986; Строение..., 1990) выделил в метаморфической истории ультрамафитов массива Рай-Из две стадии: раннюю – регрессивную, прошедшую в два этапа, и приведшую к петельчатой серпентинизации на 1-м и образованию тремолита – на 2-м этапе; поздняя – стадия прогрессивного метаморфизма, проходила в четыре этапа. Первые два были зональными; третий – оливин-антигоритизация, четвертый – антигоритизация.

На наш взгляд, метаморфическая история, действительно, сложная, но последовательность событий была несколько иной, хорошо увязанной с деформационной историей массива (см. главу 1), последовательно изложенной В.Р. Шмелевым и В.Н. Пучковым (Строение..., 1990).

Наиболее ранними породами из изученных среди ультрамафитов Войкаро-Сыньинского и Рай-Изского массивов являются несерпентинизированные гарцбургиты, встреченные в виде локальных блоков в оливин-антигоритовых и амфибол-антигоритовых породах на Войкаро-Сыньинском и тальк-амфибол-оливиновых породах – на Рай-Изском массивах. Основаниями для такого вывода служат протогранулярная структура этих пород, состав минералов и изо-

топный возраст (Вахрушева, 2007), наличие в породе первичного хромдиопсида (для гарцбургитов Войкара), аналогичного по составу клинопироксену из лерцолитовых ксенолитов, присутствие в ассоциации зонального акцессорного хромшпинелида, центральные части зерен которого обогащены хромом, а края – глиноземом. В равновесии с энстатитом находятся краевые части акцессорного хромшпинелида, а центральные, по-видимому, находились в равновесии с ранним ортопироксеном, результатом распада которого является вторая генерация клинопироксена, содержащего заметно более низкие количества хрома и алюминия и паргасит.

Пластические деформации в условиях верхней мантии приводят к образованию гарцбургитов с порфирикластическими структурами. В этих породах отсутствует ранний диопсид, а акцессорный шпинелид и клинопироксен по составу практически не отличаются от ламелей этих минералов в энстатите (Алимов и др., 1986).

P - T параметры преобразования паргенезиса $Ol_1(Cr) + Opx_1(Al, Ca, Cr) + Cpx_1(Al, Cr) + Crsp(Cr)$ в $Ol_2 + Opx_2 + Crsp(Al) + Am(Al)$ (см. раздел 3.1) можно оценить по ортопироксеновому термобарометру Мерсье (Mercier, 1980) (рис. 30). От центра зерна энстатита к контакту с глиноземистой хромовой шпинелью наблюдается снижение как температуры, так и давления (рис. 31). Формирование глиноземистой шпинели, являющейся продуктом распада раннего энстатита, происходит при более низких P - T параметрах, чем более высокохромистой, слагающей центральные части зерен шпинелида (см. раздел 3.1, рис. 18, 19).

Самым ранним водосодержащим минералом в ультрамафитах является паргасит. В несерпентинизированных гарцбургитах Кемпирсайского массива (скв. 639) обнаружено замещение порфирикластического энстатита мелкозернистым агрегатом оливина, паргасита и энстатита. Подобная картина наблюдалась нами в амфибол-энстатит-оливиновых породах с реликтами «гарцбургитового» энстатита, насыщенного ламелями хромовой шпинели (юго-западная часть массива, а также северо-западная – правый борт р. Макар-Рузь, Леквож-

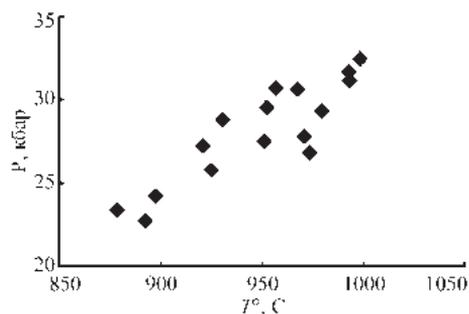


Рис. 30. Изменение P - T параметров в гарцбургитах массива Рай-Из (руч. Безымянный)

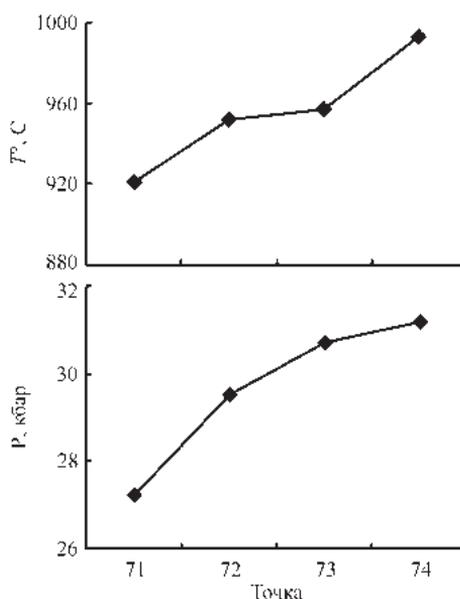


Рис. 31. Изменение P - T параметров от центра зерна энстатита (точка 74) к контакту с хромовой шпинелью (точка 71)

ский кар). Подобные «переходные» породы прослеживаются на протяжении более 1000 метров на юго-западе и 500 метров – на северо-западе массива Рай-Из (см. главу 2, рис. 17).

В зернах амфибола и оливина, расположенных в непосредственном контакте с энстатитом, отмечаются ламели хромовой шпинели, сохранившие ориентировку спайности в энстатите (рис. 32). На некотором удалении от зерна энстатита (порядка 1 мм) шпинелид встречается внутри зерен оливина и амфибола, а также по их границам в виде округлых зерен, размером в сотые – первые десятые доли миллиметра. Наблюдается стяжение мелких округлых зерен хромшпинелида в цепочки. В пределах одного шлифа можно наблюдать несколько субпараллельных цепочек. Далее образуются скопления мелких зерен шпинелида, которые начинают приобретать очертания ксеноморфного зерна. Следующая стадия – образование компактного зерна акцессорной хромовой шпинели путем «слипания» мелких зерен. Исследование состава ламелей хромовой шпинели в порфиорокластах энстатита, вростков в оливине, амфиболе и акцессорных компактных зерен подтверждает возможность механизма сегрегационной перекристаллизации при образовании акцессорного шпинелида.

Выделяются следующие стадии собирательной перекристаллизации хромовой шпинели:

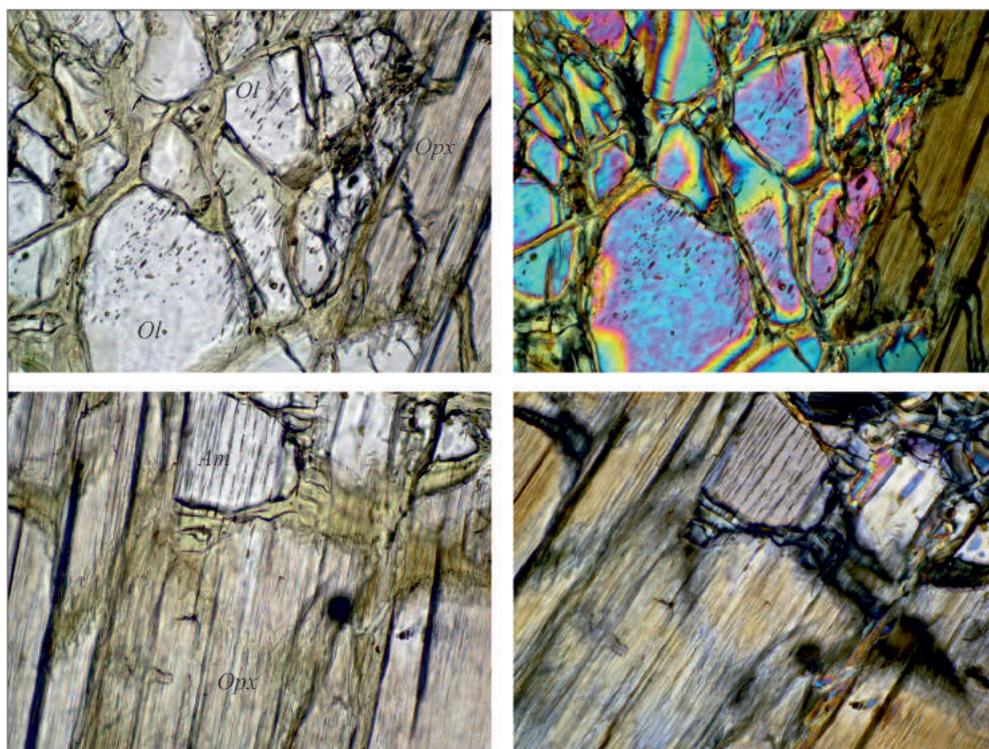


Рис. 32. Замещение энстатита с ламелями хромовой шпинели оливином и амфиболом.

Слева – без анализатора, справа – с анализатором. Увеличение 200^x (0,5 мм по ширине кадра).
Ol – оливин, Am – антитигрит, Orx – энстатит

1. Распад энстатита, образование ламелей шпинелида по плоскостям спайности в энстатите.
2. Замещение энстатита амфибол-энстатит-оливиновым агрегатом. Хромовая шпинель в виде вростков в оливине и амфиболе, сохранивших ориентировку спайности энстатита.
3. Образование небольших округлых зерен шпинелида в амфиболе и оливине.
4. Стягивание мелких «каплевидных» зерен шпинели в цепочки.
5. «Слипание» округлых зерен шпинелида в агрегат. Образование крупных компактных зерен хромовой шпинели с микроблочной структурой.
6. Образование ксеноморфного зерна хромовой шпинели без следов микроблочности.

Концентрация и укрупнение ламелей хромовой шпинели в энстатите происходит в зоне излома зерна (кинк-банда) – наибольшего напряжения – области сжатия, и сопровождается рекристаллизацией ортопироксена с образованием необластов, очищенных от примесей (рис. 33). Подобный процесс описан в работе Д.Е. Савельева и др.(2017).

Новообразованный энстатит – необласты из зоны рекристаллизации, в *P-T* координатах формирует свою зависимость, отражающую образование минерала в условиях более низких температур (рис. 34).

В то же время, унаследованность ориентировки ламелей хромовой шпинели в оливине и амфиболе свидетельствует о замещении раннего энстатита этими минералами и развитии по гарцбургиту амфибол-энстатит-оливиновой породы с «переходным» составом минералов: энстатит с низким содержанием примесей (хрома, алюминия, кальция), глиноземистый амфибол – эденит, высокохромистая шпинель. Хромовая шпинель отличается крайне низкой степенью окисленности железа при величине хромистости $Cr/(Cr + Al) = 0,88-0,90$ и соответствует по классификации Н.В. Павлова хромиту (рис. 35).

Процесс автопорфиробластеза, проявленный в ультрамафитах массива Рай-Из, привел к образованию энстатит-оливиновых и амфибол-энстатит-оливиновых пород с пойкилобластовыми структурами. Этот процесс сопровождался близкой по времени и параметрам синтетектонической рекристалли-

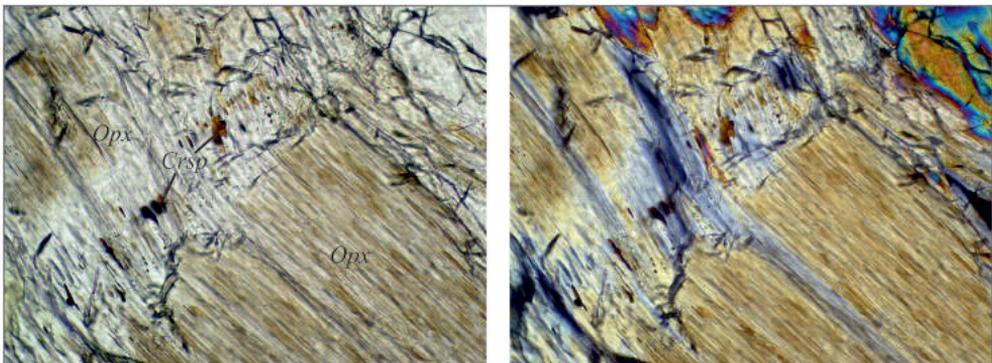


Рис. 33. Укрупнение ламелей хромовой шпинели в зоне излома зерна энстатита.

Слева – без анализатора, справа – с анализатором. Увеличение 200 \times (0,5 мм по ширине кадра).
Crsp – хромовая шпинель, *Orx* – энстатит

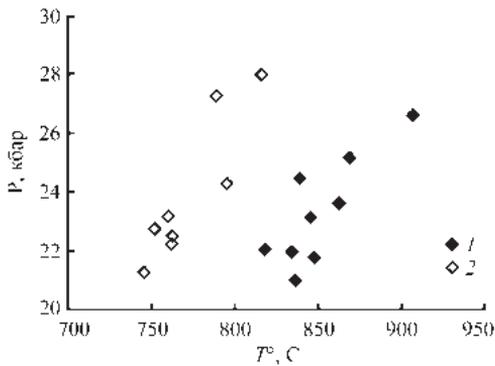


Рис. 34. Изменение P - T параметров в гарцбургитах юго-западной части массива Рай-Из, рассчитанные по энстатиту (Mercier, 1980).

1 – порфирокласты, 2 – необласты

зацией минералов, приведшей к формированию линейных зон развития мелкозернистых агрегатов амфибол-энстатит-оливинового состава. Как показано в разделе 3.3, составы минералов – энстатита, хромовой шпинели, оливина и амфибола, близки как в метаультрамафитах пойкилобластовой структуры, так и в зонах рекристаллизации. Расчет P - T параметров образования энстатит-оливиновых пород по пироксеновому термометру Мерсье (1980) показывает очень близкие результаты по изученным образцам и составляет $700 \pm 50^\circ\text{C}$ при давлении в 32–39 кбар. В то же время, в энстатит-оливиновых

породах увеличивается роль хлорита, по сравнению с амфиболом.

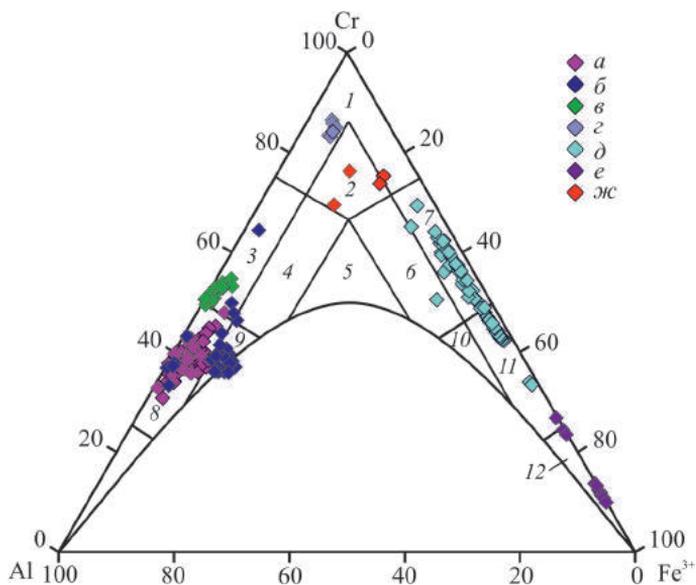
Акцессорная хромовая шпинель в оливин-энстатитовых породах по составу варьирует от феррихромита до хроммагнетита (см. рис. 35); величина хромистости минерала составляет $\text{Cr}/(\text{Cr} + \text{Al}) = 0,92\text{--}0,97$; содержание трехвалентного железа значительно выше, чем в амфибол-энстатит-оливиновых породах с «переходным» составом минералов, и составляет 0,7–1,1 формульную единицу. Окислительно-восстановительное состояние метаультрамафитов массива Рай-Из рассмотрено детально в главе 6.

Исследование хромистости хромовой шпинели как возможного геобарометра рассматривалось неоднократно в литературе (MacGregor, 1970; Mercier, 1980): по экспериментальным данным (Дорошев и др., 1997; Туркин, 2011)

Рис. 35. Состав акцессорных хромовых шпинелей в ультрамафитах массива Рай-Из.

a – гарцбургит, b – дунит, v – амфиболизированный гарцбургит, z – амфибол-энстатит-оливиновая порода с реликтами гарцбургита, d – энстатит-оливиновая и амфибол-энстатит-оливиновая порода пойкилобластовой структуры с зонами рекристаллизации, e – тальк-амфибол-оливиновая порода, $ж$ – амфибол-оливин-антигоритовая порода.

Поля составов (Павлов и др., 1968): 1 – хромит, 2 – субферрихромит, 3 – алюмохромит, 4 – субферриалюмохромит, 5 – ферриалюмохромит, 6 – субалюмоферрихромит, 7 – феррихромит, 8 – хромпикотит, 9 – субферрихромпикотит, 10 – субалюмохроммагнетит, 11 – хроммагнетит, 12 – магнетит



хромовая шпинель с хромистостью $> 0,8$, сосуществующая с оливином с железистостью $f = \text{Fe} * 100 / (\text{Fe} + \text{Mg})$ менее 10%, формируется при давлении выше 45 кбар. Этот результат подтвержден экспериментом Fumagalli et al. (2014), исследовавшими влияние хрома на стабильность хлорита при высоких давлениях.

Процесс автопорфиروبластеза ультрамафитов соответствует резкому возрастанию в системе давления за счет вклада деформационных напряжений и смене кислородного режима с восстановительного, в условиях которого формируются амфибол-энстатит-оливиновые породы с акцессорным хромитом на окислительный.

Равновесные взаимоотношения амфибола паргасит-эденитового ряда, энстатита и хромшпинелида установлено в амфибол-энстатит-оливиновых породах Войкаро-Сыньинского массива (Вахрушева, 1996). В этих породах происходит перераспределение алюминия из энстатита и хромшпинелида в амфибол. В энстатит-оливиновых и амфибол-энстатит-оливиновых породах массива Рай-Из в ассоциации участвует клинохлор. Алюминий из пироксена и хромовой шпинели гарцбургита на стадии автопорфиروبластеза перераспределяется в основном в клинохлор. Амфибол этой ассоциации в ультрамафитах Рай-Иза содержит существенно меньше алюминия, соответствуя по составу алюминий-содержащему тремолиту, редко – эдениту.

Амфибол-оливиновые породы, развитые, в основном, в восточной части массива Рай-Из (см. главу 2, рис. 17), сформировались в результате полной перекристаллизации гарцбургита в условиях амфиболитовой фации метаморфизма. Количество амфибола в породе определяется содержанием кальция; излишний кремнезем концентрируется в антигорите, глинозем – в хлорите. Состав акцессорной хромовой шпинели варьирует от субферриалюмохромита до хроммагнетита, что свидетельствует о возможности образования амфибол-оливиновых пород как по гарцбургиту, так и энстатит-оливиновой породе, прошедшей стадию порфиروبластеза.

Оливин-антигоритовые и амфибол-оливин-антигоритовые породы составляют внешнюю часть метаморфической зональности, завершая ряд равновесных метаморфических ассоциаций. Образование оливин-антигоритовых пород происходит также по гарцбургитам, поскольку состав акцессорной хромовой шпинели соответствует субферриалюмохромиту, то есть является менее окисленным, чем шпинелид энстатит-оливиновых пород. Дуниты, ассоциирующие с оливин-антигоритовыми и амфибол-оливин-антигоритовыми породами, как правило пегматоидной структуры, с очень низкой степенью серпентинизации.

Гарцбургиты без следов водного метаморфизма, за исключением петельчатой серпентинизации, характеризуются хорошими зависимостями составов минералов от состава породы. В метаморфитах эти зависимости не выдерживаются.

Петельчатая серпентинизация – наиболее поздний процесс гидратации, проявленный в ультрамафитах. Петельчатый серпентин сечет все более ранние безводные и водосодержащие минералы – оливин, пироксен, амфиболы любого состава, антигорит.

Для массива Рай-Из наиболее широко развитыми являются ассоциации энстатит-оливиновых и амфибол-энстатит-оливиновых пород. Особенностью райизских метаморфитов является присутствие в ассоциации клинохлора, концентрирующего алюминий (Вахрушева, 2008).

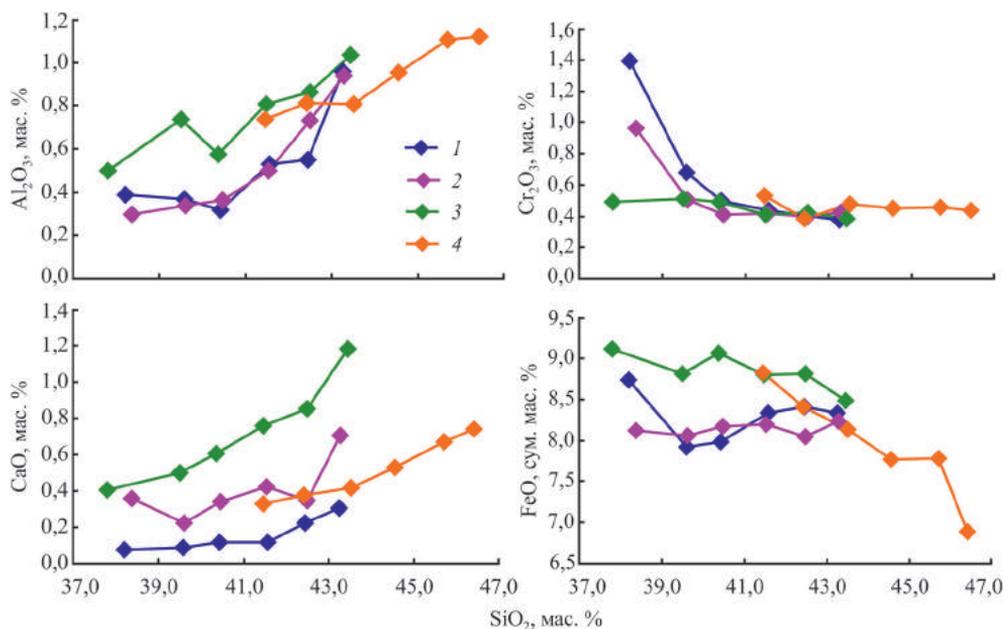


Рис. 36. Химический состав метаультрамафитов массива Рай-Из.

Усреднено через 1% SiO₂. 1 – энстатит-оливиновые и амфибол-энстатит-оливиновые породы (м-не Центральное), 2 – амфибол-оливиновые и амфибол-оливин-антигоритовые породы (р.п. Енгайское), 3 – тальк-амфибол-оливиновые породы (руч. Иашор), 4 – амфибол-оливин-антигоритовые и тальк-амфибол-оливиновые породы (руч. Кердоменшор)

Исследование петрохимических зависимостей в метаультрамафитах позволяет сделать вывод о неизохимическом характере процесса образования энстатит-оливиновых, амфибол-энстатит-оливиновых пород, а также амфибол-оливиновых и амфибол-оливиновых пород, вмещающих хромовое оруденение (рис. 36).

Ультрамафиты, вмещающие месторождение Центральное, заметно обеднены кальцием, глиноземом и кремнеземом – элементами, входящими в состав плагиоклазитов, локализованных в юго-западной части месторождения (см. главу 4).

Тальк-амфибол-оливиновые породы заметно обогащены кальцием и кремнеземом, что свидетельствует о неизохимическом характере процесса амфиболлизации и оталькования, связанных с проявлением Иашорской зоны расщелачивания.

Метаультрамафиты массива Рай-Из образуют температурный ряд, подразделяющийся на группу равновесных метаморфитов и ультрамафитов с неравновесными метаморфическими ассоциациями. В первую группу входят (от более высокотемпературных к низкотемпературным): энстатит-оливиновые и амфибол-энстатит-оливиновые, амфибол-оливиновые и оливин-антигоритовые породы. Ко второй группе относятся тальк-амфибол-оливиновые породы, амфиболлизированные и оталькованные гарцбургиты, петельчато серпентинизированные гарцбургиты.

Среди ультрамафитов массива встречаются тела плагиоклазитов, варьирующие по минеральному составу от мономинеральных до амфиболовых и амфибол-флогопитовых корундсодержащих.

Флогопит-амфибол-плагиоклазовые породы, установленные в южной части месторождения хромовых руд Центральное (Сорокин, Перевозчиков, 1973; Щербакова, 1976; Щербакова, Сутурин, 1990; и др.), вмещают известное проявление корундовой минерализации Рубиновый Лог. С.В. Щербаковой (1976, 1990) описана зональность в строении флогопит-амфиболовых плагиоклазитов с рубиновой минерализацией, исследованы составы минералов, изучен состав газовой-жидких включений в плагиоклазе, сделан вывод о генетической связи плагиоклазовых пород и вмещающих их ультрамафитов.

В 2004 г. Н.И. Брянчаниновой, А.Б. Макеевым и др. впервые опубликованы микронзондовые анализы пороодообразующих минералов корундсодержащих слюдястых плагиоклазитов проявления Рубиновый Лог. В каймах вокруг кристаллов рубина установлена и исследована натрий-стронциевая слюда (Брянчанинова и др., 2004).

Краткие сведения о составе пороодообразующих минералов и петрогеохимических особенностях, выявленных на основе исследований рубинсодержащих плагиоклазитов массива Рай-Из современными методами, а также интерпретация их образования в результате мантийного метасоматоза приведены в статье (Ishimaru et al., 2015).

Жилы плагиоклазитов встречены и описаны в мировой литературе в ультрамафитах различной формационной принадлежности. Например, жильная серия плагиоклазитов широко развита в породах Платиноносного пояса Урала и освещена в работах А.А. Ефимова (2002, 2003), Г.Б. Ферштатера (1998, 2013) и других исследователей. Так, жильный штокверк плагиоклазитов прорывает клинопироксениты Качканарского массива, вмещающие залежи титано-магнетитовых руд (Ефимов, Потапова, 2002 и др.). Генезис плагиоклазитов объясняется А.А. Ефимовым «десиликацией... магматических плагиогранитных жил... во время метаморфического события амфиболитовой ступени» (Ефимов, 2003). Г.Б. Ферштатером (1998, 2013 и др.) анортозиты Черноисточинского массива рассматриваются как пример продуктов водного анатексиса роговообманковых габбро.

Дайки корундсодержащих и бескорундовых альбититов в лерцолитовых массивах Западных Пиренеев исследовавшими их авторами ранее также считались десилицированными фельзитовыми породами (Monchoux, 1970). В более поздних работах, в том числе этих же исследователей (Monchoux et al., 2006; Pin et al., 2006) приведены достаточно убедительные минералогические и геохимические обоснования их магматической природы.

Нами уточнен вещественный состав и возраст корундсодержащих плагиоклазитов проявления Рубиновый Лог; впервые исследованы бескорундовые плагиоклазиты, залегающие в рудовмещающих дунитах рудопроявления хромитов Юго-Западное-IV (Вахрушева, Иванов и др., 2016).

Тела плагиоклазитов жилообразной, линзовидной или неправильной формы (в плане близкой к изометричной), локализованы, как правило, в дунит-пегматитах, а в ряде случаев совмещены с рудными телами хромитов. Так, горными выработками установлено, что рудное тело 254, расположенное в пределах Юго-Западного рудного поля массива Рай-Из, залегает согласно жиле плагиоклазитов (обр. Y-200). В целом, выходы плагиоклазитов располагаются субпараллельно Центральной зоне метаморфизма и полосе распространения месторождений и рудопроявлений хромитов.

Плагиоклазиты заметно варьируют по структуре, составу минералов, содержанию малых элементов. Встречены плагиоклазиты как с типично метаморфической – гранобластовой структурой, так и гипидиоморфнозернистой – с идиоморфными зернами плагиоклаза и ксеноморфным амфиболом (рис. 37); также отмечаются порфириовидные/порфиробластовые разновидности.

Химический состав минералов исследован на электронно-зондовом микроанализаторе Cameca SX 100 в Институте геологии и геохимии УрО РАН; аналитик В.В. Хиллер. Плагиоклаз в большинстве изученных образцов соответствует олигоклазу.

В амфиболовых плагиоклазитах с порфириовидной/порфиробластовой структурой (обр. Y-200) во вкрапленниках проявлена зональность – в центре зерен состав плагиоклаза соответствует $An_{18,7}$, в краевых частях – $An_{16,4}$. Закономерностей в распределении примесей – калия, стронция, бария, железа, магния, хрома, титана, марганца, содержащихся в минерале в сотых долях про-



Рис. 37. Плагиоклазит амфиболовый, обр. Y-12/1. Участок Юго-Западный

цента, не выявлено. В мелкозернистом матриксе состав плагиоклаза более кислый и также соответствует олигоклазу $An_{15,4} - An_{15,8}$.

Амфибол по составу соответствует магнезогорнблендиту (магнезиальной роговой обманке) в центральных частях зерен и актинолиту – в краевых. Давление, рассчитанное по амфиболовому геобарометру M.W. Schmidt (1992) для магнезигорнблендита составляет 2,2–3,9 кбар; температура по амфибол-плагиоклазовому геотермометру T. Holland, J. Blundy (1994) – 569–576°C.

В амфиболовом плагиоклазите с идиоморфным плагиоклазом (обр. Y-12/1) зональность в минерале более отчетливая и устанавливается при оптическом исследовании. По данным микронзондового анализа плагиоклаз в центре зерна по составу соответствует $An_{25,0}$, в краевых частях – $An_{9,97}$ (табл. 12).

Амфибол по химическому составу соответствует магнезиальной роговой обманке. Давление, рассчитанное по амфиболовому геобарометру M.W. Schmidt (1992) для магнезигорнблендита составляет 3,4–3,9 кбар; температура по амфибол-плагиоклазовому геотермометру T. Holland, J. Blundy (1994) – 628–681°C.

В корундсодержащих флогопитовых плагиоклазитах гранобластовой структуры (обр. Y-292/2) зональность в плагиоклазе не выявлена. Состав минерала более основной, чем в бескорундовых разностях и составляет $An_{25,7} - An_{30,1}$, достигая в отдельных точках состава андезина (табл. 13). Для плагиоклаза из ассоциации с флогопитом и корундом характерно содержание в минерале стронция в количестве 0,99–1,38 мас. %.

Амфибол по химическому составу соответствует магнезиальной роговой обманке, реже – эдениту–паргаситу (обр. Y-292/2). В отдельных зернах в результате диафореза формируются тремолитовые или актинолитовые каймы. Иногда к краям зерен в минерале наблюдается повышение количества хрома. Давление, рассчитанное по амфиболовому геобарометру M.W. Schmidt (1992) составляет 7,2–9,0 кбар; температура по амфибол-плагиоклазовому геотермометру T. Holland, J. Blundy (1994) – 647–699°C.

Флогопит из корундсодержащих плагиоклазитов отличается высоким содержанием хрома (Cr_2O_3 – 1,69–2,68 мас. %), бария (BaO 1,47–2,88 мас. %) и примесью стронция (SrO 0,09–0,18 мас. %). Минерал содержит оксид натрия в количестве 1,07–2,13 мас. % (табл. 14).

Таблица 12

Химический состав плагиоклаза (мас. %) из амфиболсодержащего плагиоклазита (обр. Y-12/1)

| Точка | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | FeO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | SrO | BaO | Сумма |
|---|------------------|--------------------------------|-------|-------|-------------------|------------------|-------|-------|--------|
| 19 | 66,47 | 20,86 | 0,09 | 2,09 | 10,64 | 0,05 | 0,06 | 0,00 | 100,26 |
| 20 | 61,53 | 22,97 | 0,03 | 5,13 | 8,44 | 0,07 | 0,07 | 0,00 | 98,24 |
| 21 | 62,31 | 23,02 | 0,07 | 4,97 | 8,84 | 0,07 | 0,07 | 0,00 | 99,36 |
| 22 | 64,28 | 22,47 | 0,01 | 3,87 | 9,47 | 0,06 | 0,00 | 0,03 | 100,19 |
| Формульные коэффициенты в пересчете на 5 катионов | | | | | | | | | |
| Точка | Si | Al | Fe | Ca | Na | K | Sr | Ba | An, % |
| 19 | 2,913 | 1,077 | 0,003 | 0,098 | 0,904 | 0,003 | 0,002 | 0,000 | 9,97 |
| 20 | 2,781 | 1,224 | 0,001 | 0,248 | 0,740 | 0,004 | 0,002 | 0,000 | 25,03 |
| 21 | 2,779 | 1,210 | 0,003 | 0,238 | 0,764 | 0,004 | 0,002 | 0,000 | 23,93 |
| 22 | 2,835 | 1,168 | 0,000 | 0,183 | 0,810 | 0,003 | 0,000 | 0,001 | 18,34 |

Таблица 13

Химический состав плагиоклаза (мас. %) из корундсодержащего плагиоклазита (Рубиновый Лог)

| Точка | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | FeO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | SrO | BaO | Сумма |
|-------|------------------|------------------|--------------------------------|------|------|-------------------|------------------|------|------|--------|
| 14 | 60,12 | 0,00 | 24,69 | 0,02 | 5,55 | 8,12 | 0,02 | 1,38 | 0,04 | 99,94 |
| 15 | 60,61 | 0,00 | 24,23 | 0,07 | 5,43 | 8,18 | 0,05 | 1,18 | 0,02 | 99,77 |
| 58 | 60,36 | 0,01 | 24,31 | 0,06 | 5,44 | 7,33 | 0,03 | 1,03 | 0,07 | 98,89 |
| 59 | 61,46 | 0,00 | 24,08 | 0,02 | 5,03 | 7,50 | 0,02 | 0,97 | 0,02 | 99,19 |
| 115 | 60,34 | 0,01 | 24,79 | 0,00 | 5,08 | 8,05 | 0,1 | 1,26 | 0,06 | 99,72 |
| 115 | 60,19 | 0,00 | 24,18 | 0,06 | 4,62 | 8,08 | 0,08 | 1,15 | 0,00 | 98,36 |
| 116 | 62,08 | 0,02 | 23,73 | 0,01 | 3,99 | 9,06 | 0,11 | 1,00 | 0,04 | 100,07 |
| 116 | 62,15 | 0,01 | 23,62 | 0,03 | 3,99 | 8,8 | 0,09 | 0,98 | 0,06 | 99,85 |
| 108 | 60,16 | 0,00 | 24,91 | 0,01 | 5,6 | 8,04 | 0,08 | 1,20 | 0,11 | 100,15 |
| 108 | 60,1 | 0,04 | 24,92 | 0,01 | 5,53 | 8,21 | 0,08 | 1,20 | 0,01 | 100,12 |

Формульные коэффициенты в пересчете на 5 катионов

| Точка | Si | Ti | Al | Fe | Ca | Na | K | Sr | Ba | An,% |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 14 | 2,69 | 0,00 | 1,30 | 0,00 | 0,27 | 0,70 | 0,00 | 0,04 | 0,00 | 30,3 |
| 15 | 2,71 | 0,00 | 1,28 | 0,00 | 0,26 | 0,71 | 0,00 | 0,03 | 0,00 | 29,2 |
| 58 | 2,75 | 0,00 | 1,31 | 0,00 | 0,27 | 0,65 | 0,00 | 0,03 | 0,00 | 29,4 |
| 59 | 2,78 | 0,00 | 1,29 | 0,00 | 0,24 | 0,66 | 0,00 | 0,03 | 0,00 | 27,0 |
| 115 | 2,71 | 0,00 | 1,31 | 0,00 | 0,24 | 0,70 | 0,01 | 0,03 | 0,00 | 27,8 |
| 115 | 2,73 | 0,00 | 1,29 | 0,00 | 0,22 | 0,71 | 0,00 | 0,03 | 0,00 | 25,5 |
| 116 | 2,76 | 0,00 | 1,24 | 0,00 | 0,19 | 0,78 | 0,01 | 0,03 | 0,00 | 21,6 |
| 116 | 2,77 | 0,00 | 1,24 | 0,00 | 0,19 | 0,76 | 0,01 | 0,03 | 0,00 | 21,7 |
| 108 | 2,69 | 0,00 | 1,31 | 0,00 | 0,27 | 0,70 | 0,00 | 0,03 | 0,00 | 30,1 |
| 108 | 2,68 | 0,00 | 1,31 | 0,00 | 0,26 | 0,71 | 0,00 | 0,03 | 0,00 | 29,5 |

Парагонит светло-голубовато-зеленого цвета развивается вокруг кристаллов корунда на границе с плагиоклазом (рис. 38), иногда совместно с маргаритом. В парагоните отмечаются повышенные содержания оксида хрома, стронция, бария (табл. 15).

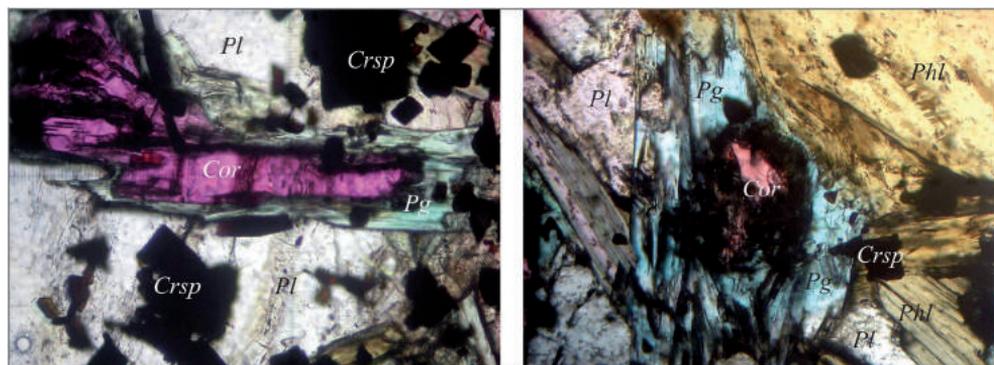


Рис. 38. Плагиоклазит флогопитовый корундсодержащий.

Без анализатора. Увеличение 40 \times (2,5 мм по высоте кадра).
Pl – плагиоклаз, *Cor* – корунд, *Pg* – парагонит, *Crsp* – хромовая шпинель

Таблица 14

Химический состав флогопита (мас. %) из корундсодержащего плагиоклазита

| Точка | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Cr ₂ O ₃ | FeO | MgO | MnO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | SrO | BaO | Total |
|--|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------------------|------------------|-------|-------|-------|
| 30 | 37,62 | 0,31 | 19,63 | 1,04 | 5,72 | 19,61 | 0,00 | 0,00 | 1,31 | 7,90 | 0,03 | 0,80 | 93,98 |
| 31 | 37,80 | 0,35 | 19,70 | 0,97 | 5,60 | 19,38 | 0,05 | 0,00 | 1,38 | 7,83 | 0,00 | 0,96 | 94,02 |
| 32 | 37,87 | 0,29 | 19,68 | 0,84 | 5,68 | 18,99 | 0,07 | 0,00 | 1,41 | 7,68 | 0,04 | 0,94 | 93,49 |
| 33 | 37,51 | 0,44 | 19,28 | 0,97 | 5,50 | 19,08 | 0,06 | 0,00 | 1,46 | 7,57 | 0,04 | 0,72 | 92,62 |
| 34 | 37,42 | 0,32 | 19,82 | 1,01 | 5,52 | 19,14 | 0,02 | 0,00 | 1,30 | 7,15 | 0,02 | 1,60 | 93,31 |
| 35 | 37,64 | 0,43 | 19,39 | 1,10 | 5,55 | 19,20 | 0,03 | 0,03 | 1,49 | 7,29 | 0,08 | 1,00 | 93,23 |
| 36 | 37,78 | 0,33 | 19,75 | 1,04 | 5,62 | 19,08 | 0,03 | 0,01 | 1,47 | 7,01 | 0,05 | 1,63 | 93,81 |
| 37 | 36,84 | 0,57 | 21,11 | 2,13 | 3,04 | 18,75 | 0,00 | 0,00 | 2,11 | 6,53 | 0,11 | 2,20 | 93,39 |
| 38 | 36,54 | 0,58 | 21,04 | 2,62 | 2,92 | 18,99 | 0,00 | 0,00 | 2,01 | 6,54 | 0,12 | 1,92 | 93,29 |
| 39 | 37,11 | 0,64 | 21,20 | 2,05 | 2,48 | 19,25 | 0,03 | 0,00 | 1,81 | 7,25 | 0,12 | 1,87 | 93,81 |
| 40 | 37,04 | 0,67 | 21,67 | 2,60 | 3,07 | 17,74 | 0,06 | 0,19 | 1,84 | 5,63 | 0,12 | 2,88 | 93,52 |
| 41 | 37,53 | 0,58 | 21,35 | 1,69 | 3,07 | 19,38 | 0,04 | 0,06 | 1,80 | 6,71 | 0,06 | 1,56 | 93,85 |
| 42 | 37,06 | 0,75 | 20,99 | 2,24 | 3,17 | 18,85 | 0,02 | 0,10 | 1,85 | 6,43 | 0,15 | 1,78 | 93,63 |
| Формульные коэффициенты в пересчете на 11 атомов кислорода | | | | | | | | | | | | | |
| Точка | Si | Ti | Al ^{IV} | Al ^{VI} | Cr | Fe | Mg | Mn | Ca | Na | K | Sr | Ba |
| 30 | 2,717 | 0,017 | 1,283 | 0,388 | 0,059 | 0,346 | 2,111 | 0,000 | 0,000 | 0,183 | 0,728 | 0,001 | 0,023 |
| 31 | 2,728 | 0,019 | 1,272 | 0,403 | 0,055 | 0,338 | 2,085 | 0,003 | 0,000 | 0,193 | 0,721 | 0,000 | 0,027 |
| 32 | 2,745 | 0,016 | 1,255 | 0,427 | 0,048 | 0,344 | 2,052 | 0,004 | 0,000 | 0,198 | 0,710 | 0,002 | 0,027 |
| 33 | 2,741 | 0,024 | 1,259 | 0,401 | 0,056 | 0,336 | 2,078 | 0,004 | 0,000 | 0,207 | 0,706 | 0,002 | 0,021 |
| 34 | 2,723 | 0,018 | 1,277 | 0,422 | 0,058 | 0,336 | 2,076 | 0,001 | 0,000 | 0,183 | 0,664 | 0,001 | 0,046 |
| 35 | 2,735 | 0,023 | 1,265 | 0,396 | 0,063 | 0,337 | 2,080 | 0,002 | 0,002 | 0,210 | 0,676 | 0,003 | 0,028 |
| 36 | 2,735 | 0,018 | 1,265 | 0,420 | 0,060 | 0,340 | 2,059 | 0,002 | 0,001 | 0,206 | 0,647 | 0,002 | 0,046 |
| 37 | 2,666 | 0,031 | 1,334 | 0,466 | 0,122 | 0,184 | 2,023 | 0,000 | 0,000 | 0,296 | 0,603 | 0,005 | 0,062 |
| 38 | 2,645 | 0,032 | 1,355 | 0,440 | 0,150 | 0,177 | 2,049 | 0,000 | 0,000 | 0,282 | 0,604 | 0,005 | 0,054 |
| 39 | 2,667 | 0,035 | 1,333 | 0,462 | 0,116 | 0,149 | 2,062 | 0,002 | 0,000 | 0,252 | 0,665 | 0,005 | 0,053 |
| 40 | 2,675 | 0,036 | 1,325 | 0,519 | 0,148 | 0,185 | 1,910 | 0,004 | 0,015 | 0,258 | 0,519 | 0,005 | 0,082 |
| 41 | 2,682 | 0,031 | 1,318 | 0,481 | 0,095 | 0,184 | 2,065 | 0,002 | 0,005 | 0,249 | 0,612 | 0,002 | 0,044 |
| 42 | 2,672 | 0,041 | 1,328 | 0,456 | 0,128 | 0,191 | 2,026 | 0,001 | 0,008 | 0,259 | 0,591 | 0,006 | 0,050 |

Корунд (по 17 микронзондовым анализам) содержит от 3,72 до 5,58 мас. % Cr₂O₃ и интенсивно окрашен в «рубиновый» цвет (см. рис. 38). Другие примеси, за исключением железа, присутствующего в очень небольшом количестве (0,3–0,4 мас. % FeO), в минерале не установлены (табл. 16).

Хромовая шпинель образует в плагиоклазе повышенную вкрапленность идиоморфных кристаллов, соответствующих по составу алюмохромиту с очень низким содержанием трехвалентного железа.

Среди аксессуарных минералов в плагиоклазитах встречаются апатит, титанит, алланит-Се, монацит, циркон.

По соотношению главных петрогенных оксидов бескорундовые плагиоклазиты близки сиенитам-граносиенитам; флогопитовые и флогопит-амфиболовые плагиоклазиты, вмещающие корундовую минерализацию, попадают в поле щелочных сиенитов (рис. 39).

По распределению редкоземельных элементов в плагиоклазитах выявлено два типа спектров (рис. 40) – в первом наблюдается обогащение легкими лантаноидами и обеднение тяжелыми относительно хондрита, во втором – нор-

Таблица 15

Химический состав парагонита (мас. %) из корундсодержащего плагиоклазита

| Точка | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Cr ₂ O ₃ | FeO | MgO | MnO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | SrO | BaO | Сумма |
|--|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------------------|------------------|-------|-------|-------|
| 49 | 40,90 | 0,15 | 40,80 | 1,94 | 0,36 | 0,48 | 0,08 | 1,59 | 3,11 | 0,33 | 2,17 | 0,36 | 92,27 |
| 51 | 40,70 | 0,12 | 41,55 | 2,16 | 0,31 | 0,50 | 0,00 | 1,71 | 2,84 | 0,33 | 2,28 | 0,23 | 92,73 |
| 52 | 35,67 | 0,12 | 38,49 | 7,15 | 2,60 | 1,06 | 0,09 | 1,81 | 3,08 | 0,34 | 2,18 | 0,35 | 92,94 |
| 54 | 42,02 | 0,12 | 41,54 | 1,19 | 0,31 | 0,81 | 0,04 | 1,51 | 3,58 | 0,44 | 2,05 | 0,31 | 93,92 |
| 5 | 41,36 | 0,08 | 41,78 | 0,02 | 0,14 | 0,34 | 0,03 | 1,76 | 5,82 | 0,26 | 1,84 | 0,21 | 93,64 |
| 6 | 41,22 | 0,09 | 42,06 | 0,10 | 0,20 | 0,39 | 0,00 | 1,73 | 5,78 | 0,26 | 2,18 | 0,21 | 94,22 |
| 7 | 41,74 | 0,03 | 42,49 | 0,05 | 0,24 | 0,42 | 0,00 | 1,95 | 5,84 | 0,21 | 1,54 | 0,25 | 94,76 |
| 8 | 41,39 | 0,05 | 42,20 | 0,08 | 0,16 | 0,38 | 0,03 | 1,85 | 5,73 | 0,24 | 2,00 | 0,21 | 94,32 |
| 9 | 41,44 | 0,07 | 41,49 | 0,03 | 0,26 | 0,43 | 0,00 | 1,68 | 5,79 | 0,29 | 2,11 | 0,20 | 93,79 |
| 10 | 40,23 | 0,11 | 39,60 | 2,23 | 0,34 | 0,54 | 0,03 | 1,45 | 5,64 | 0,40 | 2,53 | 0,37 | 93,47 |
| 11 | 39,50 | 0,11 | 40,44 | 1,58 | 0,34 | 1,13 | 0,00 | 1,63 | 5,79 | 0,38 | 2,40 | 0,28 | 93,58 |
| 12 | 41,67 | 0,08 | 40,99 | 0,35 | 0,35 | 0,45 | 0,00 | 1,52 | 5,82 | 0,30 | 2,15 | 0,21 | 93,89 |
| Формульные коэффициенты в пересчете на 11 атомов кислорода | | | | | | | | | | | | | |
| Точка | Si | Ti | AlIV | AlVI | Cr | Fe | Mg | Mn | Ca | Na | K | Sr | Ba |
| 49 | 2,746 | 0,008 | 1,254 | 1,973 | 0,103 | 0,020 | 0,048 | 0,005 | 0,114 | 0,405 | 0,028 | 0,084 | 0,009 |
| 51 | 2,717 | 0,006 | 1,283 | 1,985 | 0,114 | 0,017 | 0,050 | 0,000 | 0,122 | 0,368 | 0,028 | 0,088 | 0,006 |
| 52 | 2,477 | 0,006 | 1,523 | 1,627 | 0,393 | 0,151 | 0,110 | 0,005 | 0,135 | 0,415 | 0,030 | 0,088 | 0,010 |
| 54 | 2,764 | 0,006 | 1,236 | 1,984 | 0,062 | 0,017 | 0,079 | 0,002 | 0,106 | 0,457 | 0,037 | 0,078 | 0,008 |
| 5 | 2,737 | 0,004 | 1,263 | 1,996 | 0,001 | 0,008 | 0,034 | 0,002 | 0,125 | 0,747 | 0,022 | 0,071 | 0,005 |
| 6 | 2,719 | 0,004 | 1,281 | 1,989 | 0,005 | 0,011 | 0,038 | 0,000 | 0,122 | 0,739 | 0,022 | 0,083 | 0,005 |
| 7 | 2,726 | 0,001 | 1,274 | 1,997 | 0,003 | 0,013 | 0,041 | 0,000 | 0,136 | 0,740 | 0,017 | 0,058 | 0,006 |
| 8 | 2,723 | 0,002 | 1,277 | 1,995 | 0,004 | 0,009 | 0,037 | 0,002 | 0,130 | 0,731 | 0,020 | 0,076 | 0,005 |
| 9 | 2,744 | 0,003 | 1,256 | 1,982 | 0,002 | 0,014 | 0,042 | 0,000 | 0,119 | 0,743 | 0,024 | 0,081 | 0,005 |
| 10 | 2,710 | 0,006 | 1,290 | 1,854 | 0,119 | 0,019 | 0,054 | 0,002 | 0,105 | 0,737 | 0,034 | 0,099 | 0,010 |
| 11 | 2,656 | 0,006 | 1,344 | 1,860 | 0,084 | 0,019 | 0,113 | 0,000 | 0,117 | 0,755 | 0,033 | 0,094 | 0,007 |
| 12 | 2,760 | 0,004 | 1,240 | 1,959 | 0,018 | 0,019 | 0,044 | 0,000 | 0,108 | 0,747 | 0,025 | 0,083 | 0,005 |

Таблица 16

Химический состав корунда (мас. %)

| Точка | Al ₂ O ₃ | Cr ₂ O ₃ | FeO | SiO ₂ | MnO | Total |
|-------|--------------------------------|--------------------------------|------|------------------|------|-------|
| 2 | 93,45 | 4,44 | 0,34 | 0,00 | 0,02 | 98,29 |
| 3 | 93,76 | 4,61 | 0,33 | 0,01 | 0,00 | 98,70 |
| 4 | 93,68 | 4,12 | 0,41 | 0,03 | 0,00 | 98,24 |
| 5 | 93,37 | 4,85 | 0,42 | 0,02 | 0,04 | 98,71 |
| 6 | 93,74 | 4,37 | 0,34 | 0,00 | 0,09 | 98,55 |
| 7 | 94,12 | 4,21 | 0,35 | 0,03 | 0,00 | 98,71 |
| 8 | 91,89 | 5,26 | 0,45 | 0,01 | 0,00 | 97,62 |
| 9 | 92,78 | 4,61 | 0,41 | 0,03 | 0,05 | 97,88 |
| 12 | 93,79 | 4,37 | 0,30 | 0,05 | 0,00 | 98,51 |
| 13 | 93,16 | 4,47 | 0,32 | 0,04 | 0,00 | 98,00 |
| 14 | 94,06 | 3,89 | 0,37 | 0,06 | 0,00 | 98,38 |
| 15 | 94,43 | 4,34 | 0,33 | 0,02 | 0,00 | 99,13 |
| 16 | 92,75 | 5,58 | 0,33 | 0,00 | 0,00 | 98,66 |
| 17 | 94,84 | 3,72 | 0,40 | 0,02 | 0,00 | 98,98 |

мированные к хондриту содержания РЗЭ дают субгоризонтальную линию, показывающую обогащение плагиоклазитов РЗЭ относительно хондрита в 3–5 раз. В обоих случаях имеет место положительная европиевая аномалия. Если амфиболовые и флогопитовые плагиоклазиты проявления Рубиновый Лог относятся к первому типу, то амфиболовые плагиоклазиты из одного тела (рудопоявление 254, Юго-Западное рудное поле) показывают как тот, так и другой типы спектров. Для альбититов из жил в лерцолитах Западных Пиренеев (Pin et al., 2006) характерен первый тип спектра при более высоких содержаниях РЗЭ.

Содержание стронция в плагиоклазитах Юго-Западного рудного поля массива Рай-Из варьирует от 308 до 674 г/т, тогда как в амфиболовых и флогопитовых плагиоклазитах проявления Рубиновый Лог оно аномально высокое и составляет 4482–7706 г/т. Как показано выше, стронций концентрируется, в основном, в плагиоклазе и слюдах.

Ранее изотопный возраст корундсодержащих пород проявления Рубиновый Лог определен калий-аргоновым методом как 320 ± 20 млн лет (Makeyev, 2006).

В настоящей работе изотопный возраст плагиоклазитов определен по цирконам из амфиболовых (проба Y-200/1, рудопоявление Юго-Западное IV; широта – $66^{\circ}48'34.85''$ N; долгота – $65^{\circ}9'2.41''$ E) и флогопит-амфиболовых плагиоклазитов (проба Y-292/2, проявление Рубиновый Лог, южная часть месторождения Центральное; широта – $66^{\circ}51'39.2''$ N; долгота – $65^{\circ}14'34''$ E). Циркон в обоих случаях характеризуется идиоморфным призматическим габитусом, прозрачный, лилово-розового цвета. В шлифах установлено, что он встречается, как правило, в виде включений в амфиболе (рис. 41) и/или флогопите. На катодоллюминисцентных изображениях кристаллы циркона обнаруживают секториальность и концентрическую зональность роста (рис. 42, 44).

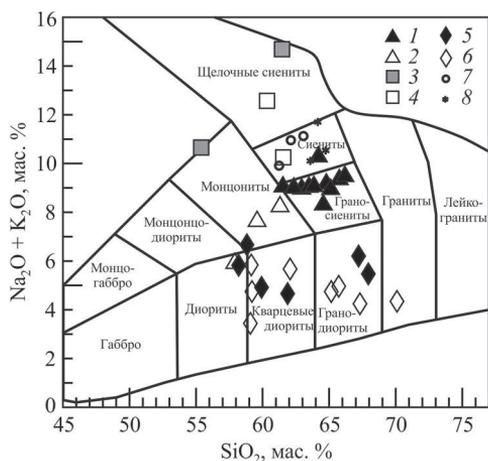


Рис. 39. Соотношение петрогенных оксидов в плагиоклазитах массива Рай-Из и породах собского комплекса.

1, 2 – бескорундовые плагиоклазиты (рудопоявление хромитов Юго-Западное IV): 1 – амфиболовый плагиоклазит порфировидной структуры, 2 – амфиболовый плагиоклазит гипидиоморфнозернистой структуры; 3, 4 – корундсодержащие плагиоклазиты проявления Рубиновый Лог: 3 – флогопитовый плагиоклазит, 4 – амфибол-флогопитовый плагиоклазит; 5, 6 – породы собского комплекса: 5 – тоналиты, плагиограниты, 6 – гипабиссальные кварцевые диорит-порфиры, тоналит- и плагиогранит-порфиры; 7, 8 – альбититы Западных Пиренеев (Pin et al., 2006): 7 – с корундом, 8 – без корунда

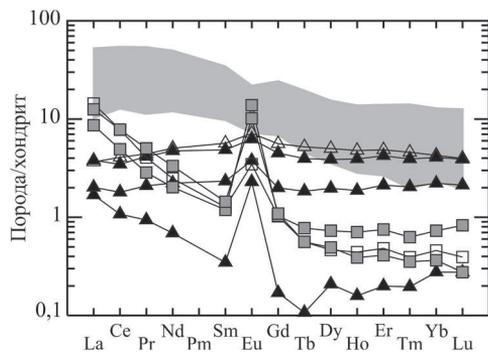


Рис. 40. Спектры распределения РЗЭ (нормировано на хондрит по (Sun, McDonough, 1989)).

Условные обозначения – см. рис. 39; серое поле – спектры РЗЭ для пород собского комплекса

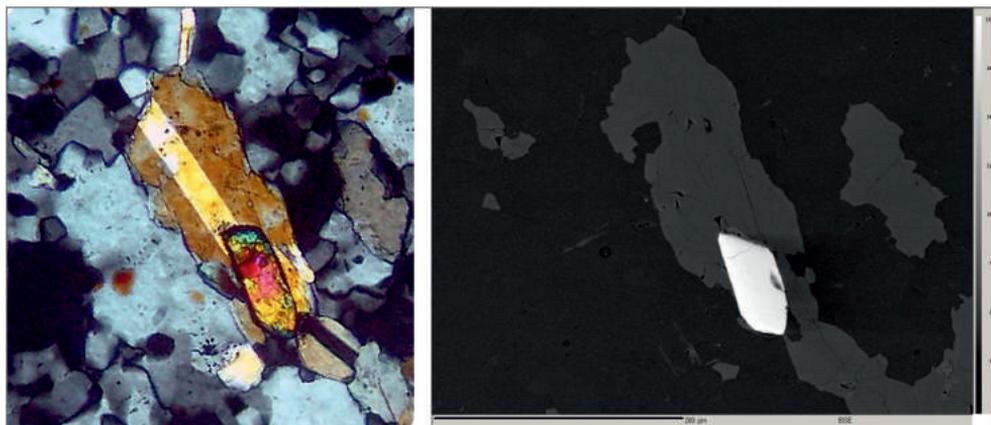


Рис. 41. Включение циркона в амфиболе. Плагноклазит амфиболовый. Обр. У-200/1.

Слева – фото шлифа с анализатором, справа – изображение BSE (темно-серое – плагноклаз, серое – амфибол, белое – циркон)

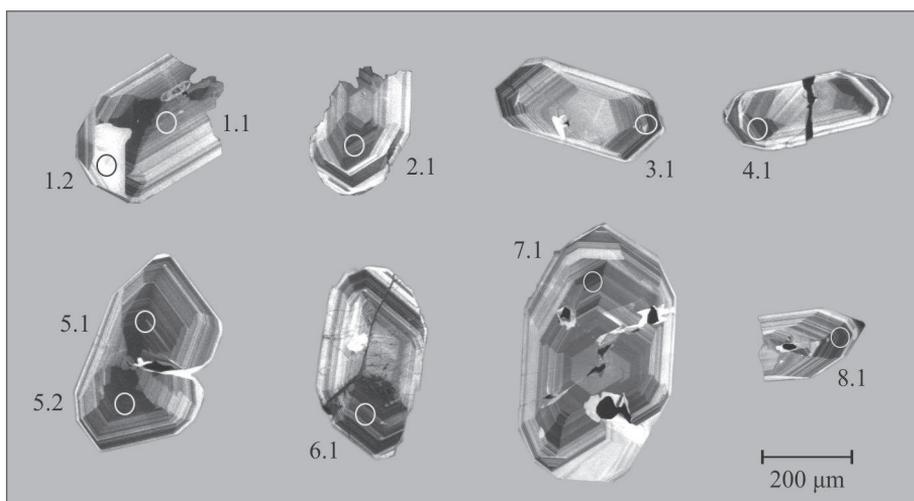


Рис. 42. Катодолюминесцентное изображение кристаллов цирконов с номерами точек измерений (см. табл. 18); обр. У-200/1

Циркон из флогопит-амфиболовых корундсодержащих плагноклазитов характеризуется несколько повышенным содержанием гафния, железа, лантана по сравнению с цирконом из бескорундовых пород рудопроявления Юго-Западное-IV. Подобные вариации примесей в цирконе описаны в корундовых и бескорундовых альбититах из жил в лерцолитах в Западных Пиренеях (Monchoux et al., 2006).

Изученные цирконы отличаются крайне низким содержанием урана, тория и свинца (табл. 17). Химический состав этого минерала определен на микроанализаторе «САМЕСА SX 100» в ИГГ УрО РАН (Екатеринбург), аналитик В.В. Хиллер.

Таблица 17

Химический состав циркона из корундсодержащих плагиоклазитов

| Точка | SiO ₂ | FeO | CaO | Y ₂ O ₃ | La ₂ O ₃ | Nd ₂ O ₃ | UO ₂ | HfO ₂ | ZrO ₂ | Сумма |
|-------|------------------|------|------|-------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----------------|------------------|------------------|--------|
| 27 | 31,87 | 0,20 | 0,08 | 0,01 | 0,18 | 0,01 | 0,08 | 1,93 | 62,98 | 97,35 |
| 28 | 32,69 | 0,18 | 0,07 | 0,00 | 0,00 | 0,09 | 0,06 | 1,89 | 63,25 | 98,24 |
| 29 | 32,58 | 0,22 | 0,02 | 0,00 | 0,03 | 0,00 | 0,01 | 2,71 | 64,42 | 99,98 |
| 30 | 32,40 | 0,34 | 0,15 | 0,10 | 0,12 | 0,30 | 0,09 | 1,94 | 61,74 | 97,18 |
| 31 | 32,71 | 0,34 | 0,04 | 0,09 | 0,28 | 0,03 | 0,39 | 2,00 | 64,88 | 100,75 |

Датирование цирконов выполнено U-Pb методом на SHRIMP-II (ВСЕ-ГЕИ) по стандартной методике. Возраст циркона из амфиболовых плагиоклазитов рудопроявления Юго-Западное-IV составил 398 ± 3 млн лет (рис. 42, 43, табл. 18), а циркона из флогопит-амфиболовых плагиоклазитов, вмещающих корундовую минерализацию, $404,4 \pm 2,8$ млн лет (рис. 44, 45, табл. 18). Возрастной зональности в минерале не выявлено.

Петрогенезис плагиоклазитов. Плагиоклазиты, локализованные внутри ультрамафитов, могут образоваться в результате следующих процессов: 1) дифференциации габбрового расплава; 2) «десиликации» плагиогранитов-тоналитов собского комплекса при внедрении в ультрамафиты; 3) метаморфической дифференциации (локального метасоматоза), проявленной в ультрамафитах.

Для габброидов кершорского комплекса массива Рай-Из характерны невысокие содержания РЗЭ, количество стронция не превышает 450 г/т, отмечает-

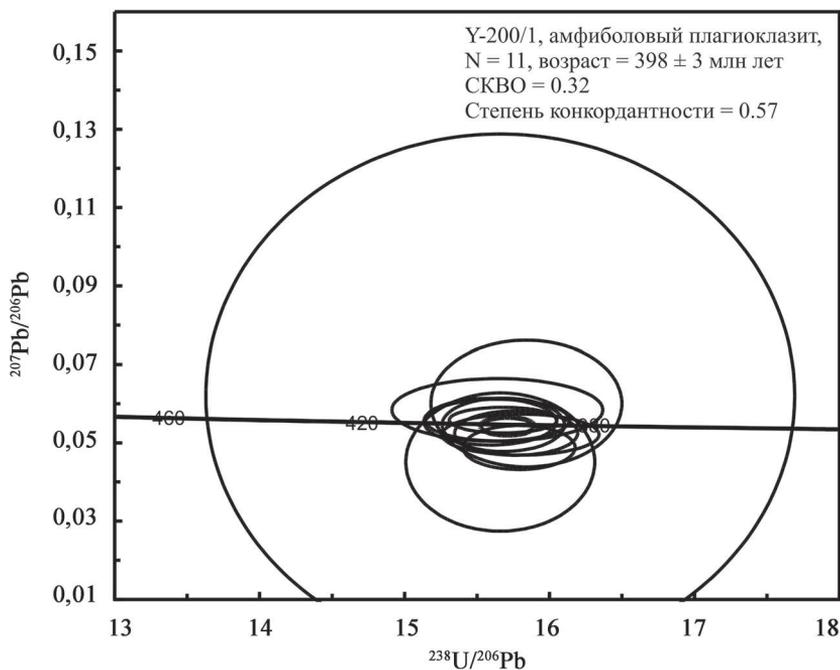


Рис. 43. Изотопные U-Pb-диаграммы с конкордией для циркона из амфиболового плагиоклазита; обр. Y-200/1

Таблица 18

Результаты локального U-Pb анализа цирконов из плагиоклазитов массива Рай-Из

| Точка | Содержание | | | | Возраст, млн лет | Изотопные отношения (1), ±% | | | |
|--|---------------------|---------------------|-----|-----|------------------|----------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|
| | % | | г/г | | | $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ | $^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U}$ | $^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$ | $^{207}\text{Pb}^*/^{206}\text{Pb}^*$ |
| | $^{206}\text{Pb}_c$ | $^{206}\text{Pb}^*$ | U | Th | | | | | |
| Амфиболовый плагиоклазит (обр. Y-200/1) | | | | | | | | | |
| 1.1 | 0 | 5,29 | 96 | 27 | $399,6 \pm 7,5$ | 0,515 | 0,0639 | 0,0584 | |
| 1.2 | 5,1 | 1,49 | 26 | 4 | 398 ± 20 | 0,54 | 0,0637 | 0,062 | |
| 2.1 | 0 | 12,2 | 225 | 77 | $395,7 \pm 5,3$ | 0,455 | 0,0633 | 0,0521 | |
| 3.1 | 0,35 | 19,2 | 347 | 242 | $400,7 \pm 4,6$ | 0,49 | 0,06413 | 0,0554 | |
| 4.1 | 0,35 | 20,3 | 370 | 249 | $396,4 \pm 4,2$ | 0,459 | 0,06342 | 0,0525 | |
| 5.1 | 0,32 | 27,6 | 505 | 460 | $395,9 \pm 3,9$ | 0,426 | 0,06333 | 0,0488 | |
| 5.2 | 0 | 28,5 | 521 | 479 | $398,6 \pm 3,8$ | 0,491 | 0,06379 | 0,0558 | |
| 6.1 | – | 19,2 | 353 | 260 | $398,6 \pm 4,4$ | 0,48 | 0,06378 | 0,0546 | |
| 7.1 | 1,18 | 9,17 | 167 | 50 | $394,3 \pm 6,3$ | 0,522 | 0,0631 | 0,06 | |
| 8.1 | 0 | 12,3 | 224 | 118 | $399,5 \pm 5,2$ | 0,492 | 0,06393 | 0,0558 | |
| Флогопит-амфиболовый плагиоклазит (обр. Y-292/2) | | | | | | | | | |
| 1.1 | 0,56 | 2,68 | 50 | 12 | $385,9 \pm 6,6$ | 0,468 | 0,0617 | 0,0551 | |
| 4.1 | 1,45 | 2,39 | 44 | 8 | $391,4 \pm 8,2$ | 0,45 | 0,0626 | 0,052 | |
| 2.1 | 1,53 | 9,65 | 173 | 38 | $399,3 \pm 5$ | 0,462 | 0,0639 | 0,0524 | |
| 8.1 | 0 | 9,92 | 180 | 29 | $399,9 \pm 3,9$ | 0,473 | 0,064 | 0,0537 | |
| 3.1 | 0,18 | 18,7 | 340 | 47 | $400,2 \pm 3,3$ | 0,482 | 0,06405 | 0,0546 | |
| 6.1 | 0 | 14,2 | 255 | 58 | $405,3 \pm 3,5$ | 0,487 | 0,06489 | 0,0544 | |
| 7.1 | 0 | 5,57 | 99 | 21 | $408,5 \pm 4,9$ | 0,496 | 0,06542 | 0,055 | |
| 9.1 | 0 | 21,4 | 379 | 56 | $410,8 \pm 3,1$ | 0,493 | 0,0658 | 0,0544 | |
| 5.1 | 0 | 17,7 | 309 | 46 | $414,5 \pm 3,9$ | 0,502 | 0,06642 | 0,0548 | |

Примечание. Pb_c – обыкновенный свинец, Pb* – радиогенный свинец; погрешности калибровки относительно стандартов 0,37%; (1) поправка на нерадиогенный свинец по ^{206}Pb . Номер точки измерения включает: первая цифра – номер зерна, вторая (после точки) – номер замера (кратера).

ся устойчивый дефицит легких РЗЭ. Плагиоклазиты, исследованные в настоящей работе, обогащены легкими РЗЭ ($\text{La}_N/\text{Yb}_N = 0,8\text{--}5,8$ в бескорундовых и $\text{La}_N/\text{Yb}_N = 11,2\text{--}32,6$ в корундсодержащих), а также стронцием (см. выше). Все это исключает возможность формирования плагиоклазитов как дифференциатов габбрового расплава. Изотопный возраст габброидов, расположенных к югу от ультрамафитов массива Рай-Из и традиционно трактуемых большинством исследователей как часть офиолитового разреза (см. главу 1), определен по цирконам (Шмелев, Мон, 2013) как 418 ± 2 млн лет.

Плагиограниты и тоналиты собского комплекса (Язева, Бочкарев, 1984; Кузнецов, 2014; и др.) также не являются источником вещества для образования плагиоклазитов, несмотря на близкие возраста (Удоратина, Кузнецов, 2007; и др.). Исследованные плагиоклазиты, при близких содержаниях кремнекислоты, заметно обогащены щелочами по сравнению с породами собского комплекса, что вряд ли возможно при внедрении плагиогранитов в ультрамафиты. Сравнение распределения редких и редкоземельных элементов в породах собского комплекса и изученных плагиоклазитах (см. рис. 40) также свидетельствуют об их различной природе.

Таким образом, плагиоклазиты Рай-Иза сформировались, по всей видимости, в результате флюидной проработки ультрамафитов и метаморфической дифференциации (локального метасоматоза), приведших к образованию ме-

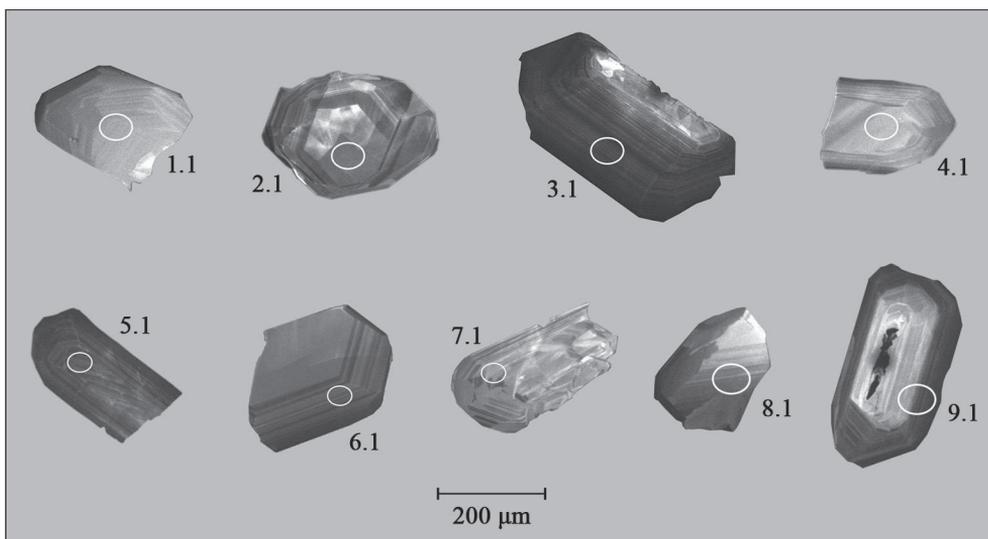


Рис. 44. Катодолуминесцентное изображение кристаллов цирконов с номерами точек измерений (см. табл. 18); обр. У-292/2

таультрамафитов, хромовых руд и плагиоклазитового мобилизата в зонах разгрузки. Высокохромистое хромовое оруденение месторождений Центральное и Западное, а также рудопроявлений Юго-Западного и Енгайского рудных полей массива Рай-Из, локализованы в породах метаморфизованного дунит-гарцбургитового комплекса, представленных так называемыми «вторичными гарцбургитами»/метаультрамафитами – амфибол-энстатит-оливиновыми породами и пегматоидными дунитами. Метаморфиты, вмещающие хромовое оруденение, заметно обеднены алюминием, кальцием, титаном, при одном и том же содержании кремнезема (нормативного пироксена), по сравнению с дунитами и гарцбургитами, претерпевшими лишь петельчатую серпентинизацию и сохранившимися в северо-восточной и восточной частях массива.

С нашей точки зрения, локализация хромового оруденения месторождения Центральное и др. происходила в процессе метаморфизма ультрамафитов и сопровождалась образованием жильной серии плагиоклазовых пород. Плагиоклазиты в ходе процесса концентрировали алюминий, кальций, щелочи, кремнезем, редкие земли; хромовая руда и околорудные дуниты – хром, железо и магний.

Геодинамическая интерпретация (Вахрушева, Иванов и др., 2016). Анализ значения полученных результатов для региональной геологии и геодинамики невозможен без учета сведений по геологии вмещающих комплексов. Причем, наиболее значимы именно полярноуральские данные (а не проводимые иногда сверхдлинные корреляции, например, с югом Урала), поскольку на Урале отмечается возрастное «скольжение» геодинамических событий, в частности, их омоложение в северных частях региона (Иванов, 2001; и др.).

Отметим, что изотопные определения возраста для обеих точек опробования показали практически совпадающие значения (в пределах наблюдаемых

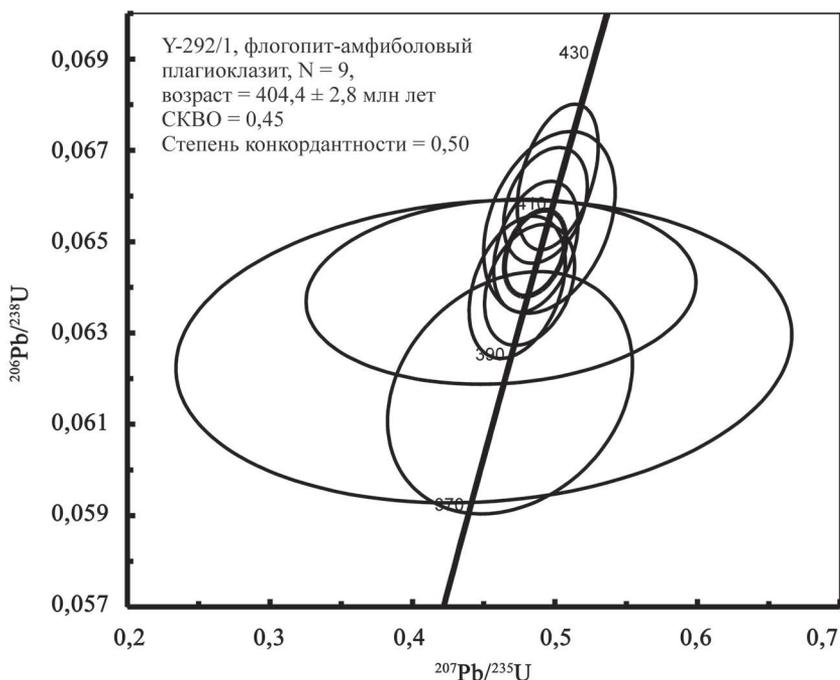


Рис. 45. Изотопные U-Pb-диаграммы с конкордией для цирконов из флогопит-амфиболовых плагиоклазитов массива Рай-Из. Обр. Y-292/2

погрешностей) – 400 ± 3 млн лет, что примерно отвечает границе раннего и среднего девона, т.е. границе эмса и эйфеля международной шкалы 2009 г. ($397,5 \pm 2,7$ млн лет).

Ранее сообщалось (Ронкин, Прямоносков и др., 2000), что Sm-Nd изохронным методом был определен возраст ультрамафитов (гарцбургита и дунита) массива Рай-Из, который составил 409 ± 26 млн лет (Ронкин, Прямоносков и др., 2000; таблицы с фактическими данными измерений в этой работе не приведены). Все вышеприведенные значения возраста пород совпадают (неразличимы в пределах аналитических погрешностей). Совпадение возрастов метаморфизованных гарцбургитов и кэршорского комплекса указывает на то, что в работе (Ронкин, Прямоносков и др., 2000) было определено время проявления метаморфизма ультрамафитов, а не время их генерации, как это предполагалось авторами вышеупомянутой работы.

Также ранним-средним девоном датируется закрытие Sm-Nd изотопных систем офиолитовых ультрамафитов смежного к югу Войкарского массива (387 ± 34 млн лет (Sharma et al., 1995), в то время как возраст наименее измененных ультрамафитов этого массива составляет около 2 млрд лет (Вахрушева, 2007; Батанова и др., 2009). Из этого следует, что 387 ± 34 млн лет для Войкарского массива – это тоже, скорее всего, возраст метаморфизма ультрамафитов.

Я.Э. Юдовичем с коллегами (1995) в метаморфитах Центрально-Уральского поднятия севера Урала Rb-Sr методом было выявлено три возрастных

рубежа метаморфизма (млн лет): позднерифейский (928 ± 16), раннедевонский ($395\text{--}397 \pm 8\text{--}12$) и позднепермский (255 ± 16). По всей видимости, первый из них связан с рифтовым метаморфизмом растяжения (Формирование..., 1986), а позднепермско-раннетриасовый рубеж отвечает этапу ограниченного пост-коллизийного субширотного растяжения Урала (Иванов, 1998). Пик этого растяжения приходится на границу перми и триаса (250 млн лет); именно в это время на Урале начали формироваться угленосные грабены и рифты в Западной Сибири.

Раннедевонский этап метаморфизма (400 млн лет), субсинхронный с метаморфизмом ультрамафитов и возрастом плагиоклазитов, выявлен Э.Я. Юдовичем с коллегами (1995) как в двуслюдяных гранатсодержащих сланцах няртинского комплекса (397 ± 8 млн лет), так и в залегающей выше щекурьинской «свите» – фенгит-содержащих кальцитовых мраморах и сланцах (395 ± 12 млн лет). Данные по континентальным перерывам в осадконакоплении на Урале (Шуб, 1983; и др.) показывают наличие трех наиболее крупных перерывов – предордовикского, предэйфельского и предмезозойского, в первом приближении совпадающих с отмеченными выше метаморфическими этапами.

С учетом приведенных выше и других данных геодинамическую историю формирования габбро-ультрамафитовых комплексов региона можно представить в следующей последовательности:

1) Формирование мафит-ультрамафитовых комплексов как коры океанического типа в зоне тыловодужного спрединга (восточнее Главного Уральского разлома (ГУРа) в современных координатах) в раннем палеозое, вероятно, в конце среднего ордовика – начале силура (в этой же зоне оказываются мантийные блоки с возрастом около 2 млрд лет).

2) Субдукция в зоне ГУР в конце раннего – позднем силура и постепенное сужение «океана», находившегося западнее ГУРа и к востоку от Восточно-Европейского кратона.

3) Прогрессирующее сокращение субокеанического бассейна в раннем девоне, погружение в зону субдукции ГУРа кластических толщ подножия Восточно-Европейского палеоконтинента и появление гранитоидных расплавов вследствие флюидной переработки в надсубдукционном клине. Начало коллизии, воздымание, предэйфельский перерыв, метаморфизм ультрамафитов и палеозойских стратифицированных толщ Центрально-Уральского поднятия, включающих переработанные блоки кристаллического фундамента палеоконтинента.

4) Полное замыкание осадочного бассейна, девон–пермская коллизия в транспрессионной обстановке, приводящая к появлению на дневной поверхности HP-LT метаморфических пород.

5) Постколлизийное растяжение в позднепермско–раннетриасовое время. Выявленные в южной и юго-западной частях массива Рай-Из тела плагиоклазитов располагаются субсогласно Центральной зоне метаморфизма и полюсе распространения месторождений и рудопроявлений хромитов. Плагиоклазиты локализованы как правило, в дунит-пегматитах.

Образование плагиоклазитов внутри разреза хромитоносных ультрамафитов массива Рай-Из, по нашему мнению, является следствием метаморфической дифференциации (локального метасоматоза) в результате флюидной про-

работки ультрамафитов, приведшей к формированию метаультрамафитов, хромовых руд и плагиоклазитового мобилизата в зонах разгрузки.

На границе силура и девона и раннем девоне в области распространения рассматриваемых ультрамафит-мафитовых комплексов на фоне начинающейся мощной коллизии произошла глубокая метаморфическая переработка ультрамафитов большей части массива Рай-Из с формированием хромового оруденения высокохромистого типа и обособлением жильной серии существенно плагиоклазовых пород с корундовой (рубиновой) минерализацией (Вахрушева, Иванов и др., 2016).

5.1. Месторождение Центральное

Месторождение Центральное расположено на левом берегу р. Макарузь и приурочено к крупному тектоническому блоку дунитов, окруженному дунит-гарцбургитовым комплексом. Тектоника месторождения напряженная и сложная. Месторождение разделяется субширотными разрывами на четыре блока (с юга на север).

Южный блок месторождения сложен породами дунит-гарцбургитового комплекса с количеством дунитов более 30%, вмещающими маломощные рудные тела № 32, 36, 314 и др. Хромититы представлены средне- и густовкрапленными разновидностями, сложены высокохромистой хромовой шпинелью.

Второй тектонический блок ограничен с севера Рубиновым разрывом. С востока на запад наблюдается увеличение количества дунитов от 10 до 70%, вплоть до самостоятельных дунитовых тел, часто рудовмещающих (рудные тела № 10, 31 – самые крупные, рис. 46). Хромовые руды от густовкраплен-

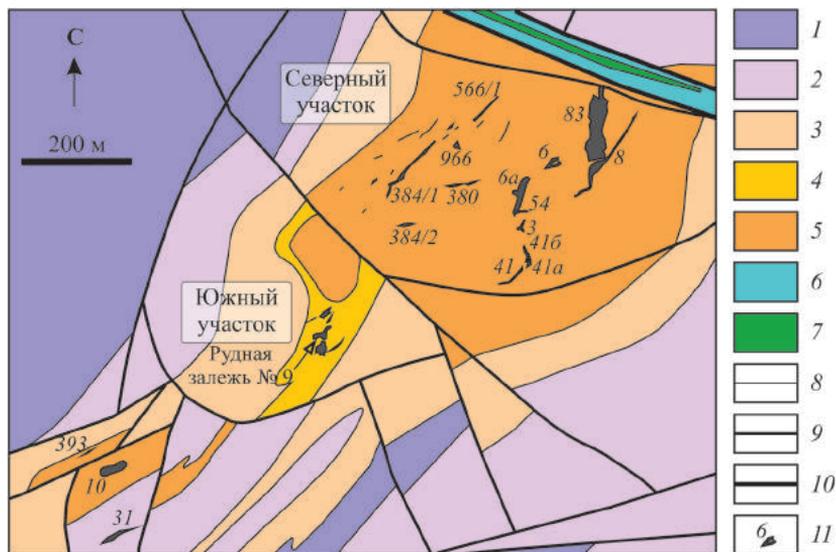


Рис. 46. Схематическая геологическая карта месторождения Центральное (по материалам (Петровзчиков и др., 1981, 2005)).

1–4 – породы дунит-гарцбургитового комплекса с различным содержанием дунитовой составляющей (%): 1 – <10, 2 – 10–30, 3 – 30–50, 4 – 50–70; 5 – дуниты; 6 – серпентиниты; 7 – диабазы; 8 – геологические границы; 9, 10 – тектонические нарушения 1-го и 2-го ранга, соответственно; 11 – тела хромовых руд и их номера

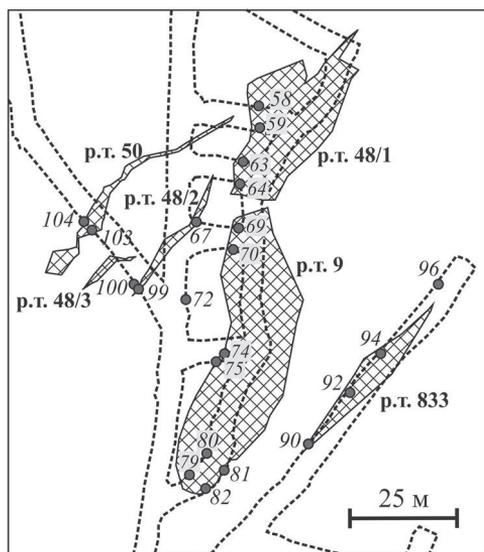


Рис. 47. Схема опробования рудной залежи № 9 в штольне на горизонте 480 м.

Пунктирной линией обозначен контур штольни. Крупные точки – места отбора штучных проб

ных до сплошных, с зонами развития полосчатых и нодулярных. Руды высокого качества, с содержанием Cr_2O_3 до 50 мас. % и более.

Третий блок расположен между Пологим и Рубиновым разрывами. Здесь так же, как и во втором блоке, наблюдается увеличение дунитов в разрезе с запада на восток. Основная часть блока сложена породами дунит-гарцбургитового комплекса с количеством дунитов более 50%. Оруденение представлено рудным телом № 9, сопровождающимся серией более мелких тел (№ 48, 833, 35, 50 и др.) и представляющими совместно рудную залежь № 9 (рис. 47). Рудная залежь отрабатывается Южным карьером и штольнями.

Самый северный блок максимально насыщен рудными телами и ограничивается с севера Полойшорским разрывом. Добыча хромовых руд в пределах этого блока до 2015 г. велась в

Северном, наиболее крупном, карьере. Он представляет собой дунитовое тело, имеющее тектонические контакты с дунит-гарцбургитовым комплексом, за исключением северо-западной части, где наблюдается постепенный переход от энстатитовых дунитов к беспироксеновым, вмещающим основную массу рудных тел месторождения. До начала отрабатки месторождения Центральное было установлено нарастание интенсивности оруденения с запада на восток: возрастает количество рудных тел, их мощность и густота вкрапленности хромовых руд. Были выделены восточная и западная подзоны. В Северном карьере отрабатывались рудные тела восточной подзоны. Наиболее богатые руды локализуются на периферии дунитового тела, в его лежачем боку в эндоконтактовой зоне.

Хромовые руды месторождения Центральное изучаются нами с 1985 года. Меняется все. Постоянным остается высокое качество руд месторождения Центральное.

В ходе поисковых работ и специализированных геолого-петрологических исследований нами были опробованы хромовые руды и околорудные ультрамафиты ряда рудных тел месторождения Центральное. Исследованы наиболее крупные рудные тела, вскрытые с поверхности до горизонтов 625, 615 и 600 метров Северного карьера. Это рудные тела № 3, 6, 8, 17, 41, 83 и др. Все опробованные рудные тела крутопадающие, сложной линзовидно-уплощенной формы, с падением от северо-западного до субвертикального.

Рудная залежь № 9 (см. рис. 47) объединяет 6 рудных тел: № 9, 833, 48/1, /2, /3 и 50; вскрытые в Южном карьере и штольнях. Простираение рудных тел северо-восточное (азимут 20–43°), падение на северо-запад под углами 75–85°. Наибольшей мощностью (8,2 м) и длиной по простиранию (65 м) обладает руд-

ное тело № 9. Вторым по величине является рудное тело № 48/1, имеющее длину 38 м при мощности 6,5 м. Мощности рудных тел № 48/2, 48/3, 833 составляют 0,9–2,6 м; длины по простиранию 13–33 м. Рудные тела имеют неправильную, нередко тектонически нарушенную (рис. 48), близкую к пластообразной (№ 48/2, /3, 833) и линзовидной форму (№ 9, 48/1), иногда соединяются перемычками, часто пронизаны сетью достаточно мощных (до 0,5 м, иногда более) безрудных прожилков дунита различной ориентировки. По простиранию и падению рудных тел на расстоянии от нескольких до десятков метров отмечаются шлировидные скопления хромовых руд. Ориентировка рудного тела № 9 несколько отличается от ориентировки остальных тел – с глубины порядка 20 метров оно имеет субмеридиональное простирание (см. рис. 47) и погружается на северо-запад.



Рис. 48. Выход рудного тела № 9 в юго-восточном борту Южного карьера

По данным Б.В. Перевозчикова и др. (2005; Реестр..., 2000) хромовые руды рудной залежи № 9 залегают в дунитах юго-западной апофизы Центрального дунитового тела. Нами было произведено изучение рудовмещающих пород, отобранных в штольне месторождения Центральное. По результатам исследования в районе рудной залежи № 9 установлено широкое развитие амфибол-оливиновых и амфибол-энстатит-оливиновых пород – апогарцбургитовых метасульфидных дунитов, мощность которых достигает 20 м. Полученные данные согласуются с результатами картировочных работ масштаба 1:10 000, проведенных на месторождении в 1978–1980 гг. (Перевозчиков и др., 1981). На составленной авторами геологической карте показано развитие в пределах залежи № 9 пород дунит-гарцбургитового комплекса с содержанием дунитовой составляющей более 70% (см. рис. 46).

Вокруг рудных тел развита, как правило, дунитовая оторочка, мощность которой не выдержана, и в целом составляет не более 1–2 м. Дуниты, слагающие оторочку, очень слабо серпентинизированы, имеют фиштакково-зеленый цвет и среднезернистую, до пегматоидной структуру (размер зерна от 5 мм до 10 см). Внутри зерен оливина наблюдаются разноориентированные зоны рекристаллизации, мощностью 2–3 мм, сложенные мелкозернистым агрегатом оливина мозаичной структуры с размером индивидов 0,2–0,5 мм. Помимо зерен оливина, внутри таких зон нередко наблюдаются необласты энстатита и длиннопризматические идиобласты амфибола – тремолита, размером от 0,5 до 5 мм и более.

Наиболее крупные рудные тела – № 9 и 48/1 были изучены детально. Профили, вдоль которых произведено их опробование, ориентированы по простиранию (см. рис. 47), что определялось направлением горной выработки. Рудные тела характеризуются достаточно однородным внутренним строением и сложены главным образом средневкрапленными и густовкрапленными рудами (рис. 49). В рудном теле № 48/1 отмечается понижение (до убогоредковкрапленной) густоты вкрапленности рудообразующей хромовой шпинели к контактам с вмещающими ультрамафитами.

Структура хромитов в основном равномерно-крупная, равномерно-зернистая, средне-крупнозернистая.

Силикатная часть в хромититах представлена агрегатом зерен оливина, который частично (от 0 до 15–20%) замещается петельчатым серпентином. Фрагментарно матрикс руд сложен агрегатом хлорита. Хлорит, в шлифе бесцветен, зачастую имеет аномальную индигово-синюю интерференционную окраску, нередко выполняет отрицательные кристаллы в крупнозернистой хромовой шпинели. Границы шпинелида и оливина ровные, нелинейной, изогнутой формы. Граница лейст хлорита с зернами рудообразующей хромовой шпинели, как правило, неровная, ломанная, часто повторяющая октаэдрическую огранку кристаллов шпинелида.

Для рудных тел № 3, 6, 8, 17, 83, опробованных в Северном карьере по горизонтам 600, 615 и 625 м, проведен весь комплекс исследований: силикатный анализ хромовых руд и околорудных ультрамафитов, микрозондовое исследование состава рудообразующего хромшпинелида и ассоциирующих силикатов (см. приложение 1, 2, 3, 5), изучение петрографических особенностей хромитов в штуфах, шлифах и аншлифах.

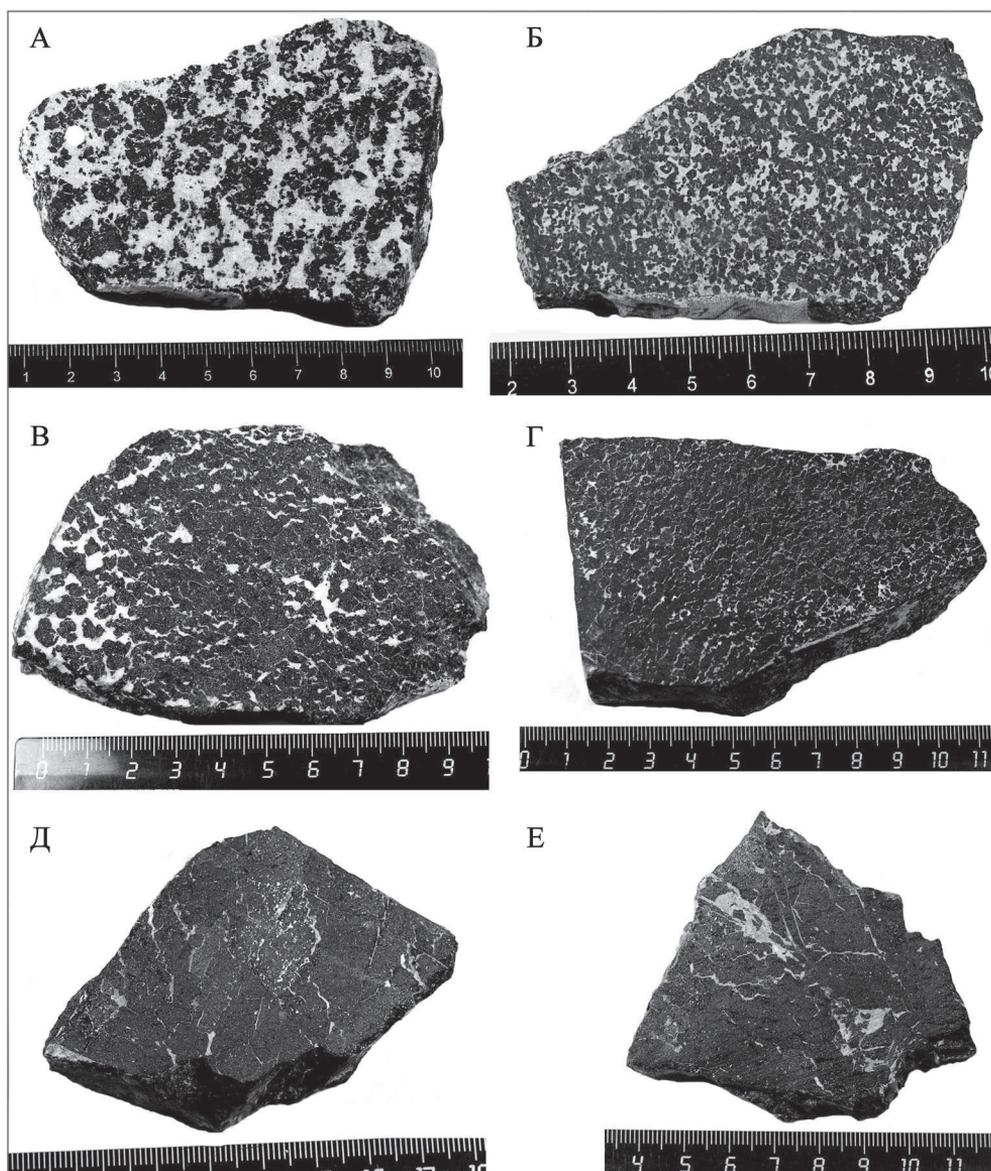


Рис. 49. Типы хромовых руд месторождения Центральное.

А – редкокрапленная хромовая руда (резорбированные нодули), р.т. 31; Б – среднекрапленная хромовая руда, р.т. 9; В – средне-густоукрапленная хромовая руда, р.т. 6; Г – густоукрапленная хромовая руда, р.т. 83; Д – сплошной хромитит с обособлением густоукрапленного, р.т. 17; Е – сплошной хромитит, деформированный, р.т.17

Для получения информации, необходимой для сравнения хромититов глубоких горизонтов и флангов месторождения Центральное с обрабатываемыми верхними горизонтами, были проведены лабораторные и аналитические работы по хромититам, опробованным по разведочным скважинам в верхних горизонтах Северного карьера (680–700 м) для рудных тел № 6, 8, 17, 83, в гор-

ных выработках и зачистках по рудным телам № 9, 10 и 31 (Вахрушева и др., 2010). Также были использованы материалы, полученные нами при документации горных выработок и разведочных скважин до начала отработки месторождения Центральное (р.т. № 7, 10, 21, 41, 53 и др.).

Рудные тела № 3, 6, 8, 17 и 83 изучены как в верхних, так и на глубоких горизонтах. Для всех четырех тел характерны средне-густовкрапленные руды со шлирами сплошных (см. рис. 49). Размер обособлений сплошных хромититов составляет от десятков сантиметров до первых метров. В основном преобладают равномерновкрапленные разности. Структурно-текстурные характеристики выдержаны в пределах рудных тел и с глубиной существенных изменений не наблюдается.

Зоны трещиноватости в рудах имеют, как правило, линейный характер и коррелируют с общим структурным планом месторождения. С глубиной степень трещиноватости хромовых руд в целом несколько снижается. Зоны хрупкой деформации проявляются в виде отдельности в зернах, либо в виде тонких трещин, как правило, без смещения блоков (рис. 50).

Химический состав хромититов исследован рентгеноспектральным флуоресцентным методом на приборе СРМ-18 в Институте геологии и геохимии УрО РАН в 2007–2010 гг. (см. прил. 5).

Как видно на вариационных диаграммах, отражающих химический состав хромититов месторождения Центральное (рис. 51), редковкрапленные руды, содержание кремнезема в которых составляет 20–30 мас. %, встречаются крайне редко. Средне-, густовкрапленные и сплошные разности хромититов практически не метаморфизованы, что отражается в хорошей корреляции магния и железа. В то же время, для убоговкрапленных хромовых руд характерно заметное возрастание содержания железа, что связано с развитием вторичного хроммагнетита по хромовой шпинели (см. рис. 53).

Детально изучены составы рудообразующих хромовых шпинелей из рудных тел, вскрытых как на верхних, так и глубоких горизонтах месторождения Центральное. Микрозондовые анализы выполнены на микроанализаторе САМЕСА SX-100 (ГЕОХИ РАН, аналитик Н.Н. Кононкова).

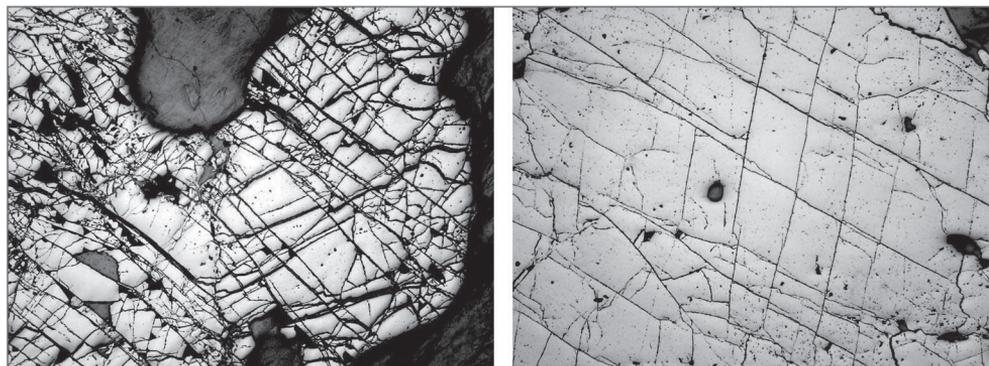


Рис. 50. Рудообразующая хромовая шпинель со следами деформаций.

Слева – густовкрапленная хромовая руда из зоны трещиноватости, р.т. 3; справа – трещины отдельности в сплошном хромитите, р.т. 8. Фото аншлифа в отраженном свете. Увеличение 25^х (4 мм по ширине кадра)

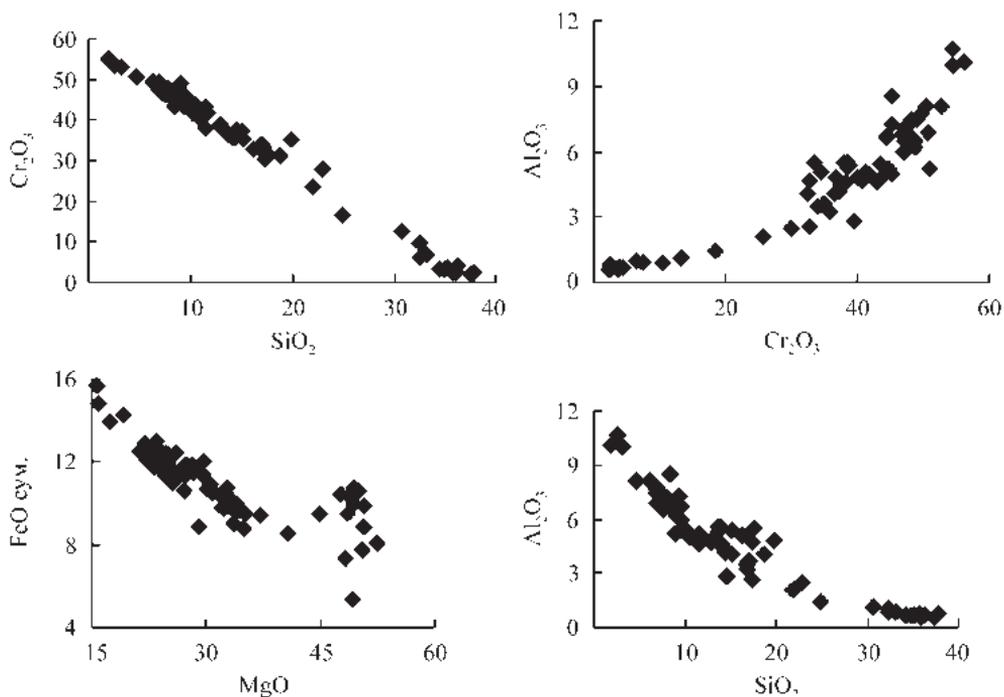


Рис. 51. Содержание основных компонентов (мас. %) в хромитах месторождения Центральное

Все рудообразующие хромовые шпинели соответствуют высокохромистому типу. На гистограммах распределения в минерале оксида хрома, как для северной, так и для южной части месторождения, отмечается бимодальность (рис. 52). Для хромититов южной части месторождения характерны хромовые шпинели с модальными содержаниями Cr_2O_3 – 58,5 и 61,5 мас. %; для рудных тел северной части – 58,5 и 60,5 мас. %. Природа бимодальности исследована и обсуждается в главе 7. По содержанию глинозема рудообразующие хромовые шпинели северной и южной частей месторождения не различаются; модальное значение соответствует Al_2O_3 – 8,5 мас. % (см. рис. 52). Состав минерала не меняется с глубиной, сохраняя предельно высокое для шпинелида содержание хрома. Вариации состава хромовой шпинели, как по глинозему, так железу и магнию незначительны в пределах всех изученных рудных тел (см. прил. 1).

В рудообразующих шпинелидах из убоговкрапленных хромититов как верхних частей рудных тел, так и на глубоких горизонтах нередко проявлена зональность, которая наблюдается при оптическом исследовании шлифов – отражательная способность шпинелида возрастает от центра к периферии (рис. 53): к краям зерен увеличивается содержание железа при снижении количества глинозема. Вокруг таких зерен нередко развиты оторочки хлорита.

Как в рудовмещающих дунитах, так и хромититах месторождения Центральное повсеместно отмечается акцессорная вкрапленность сульфидов никеля (пирротин, пентландит, миллерит и др.). Сульфиды образуют сростания с хромовой шпинелью, отлагаются при серпентинизации как по трещинам в шпинелиде, так и в серпентине и хлорите (рис. 54).

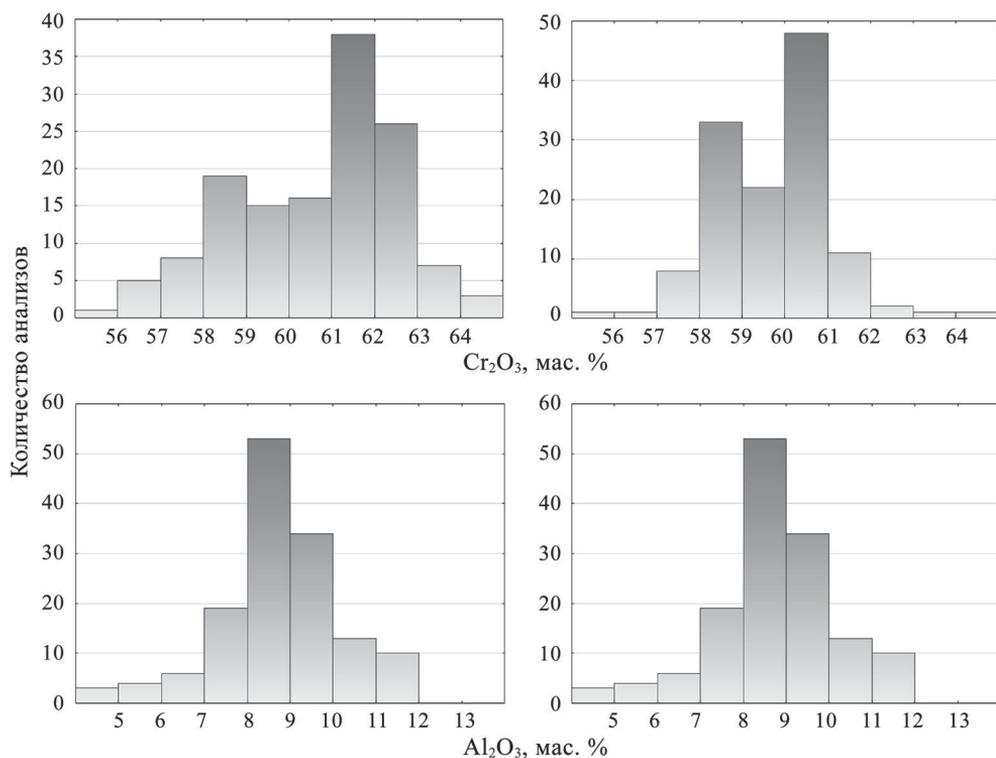


Рис. 52. Гистограммы распределения Cr_2O_3 и Al_2O_3 в рудообразующих хромовых шпинелях Южного (слева) и Северного (справа) участков месторождения Центральное

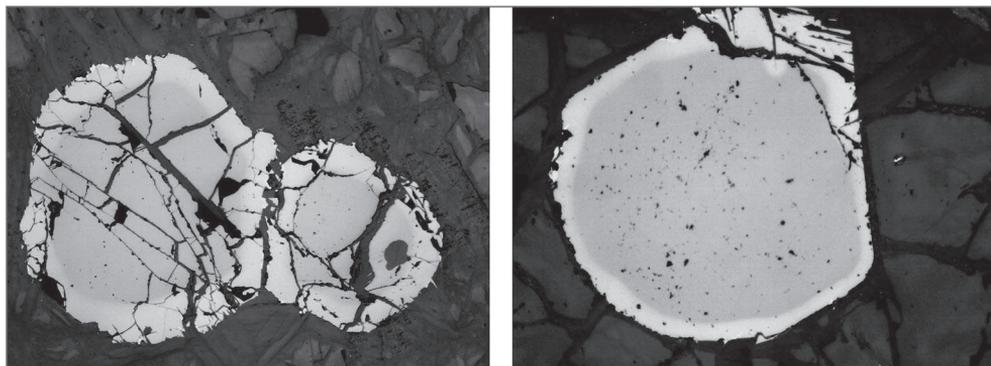


Рис. 53. Зональные зерна хромовой шпинели в убоговкрапленном хромитите.
Фото аншлифа в отраженном свете. Увеличение 100* (1 мм по высоте кадра)

Исследовано распределение лантаноидов в монофракции хромовой шпинели из рудного тела 7, северная часть месторождения Центральное. Отмечается некоторое обогащение шпинелей легкими элементами (рис. 55). Положительная европиевая аномалия, выявленная на спектре РЗЭ для исследованной

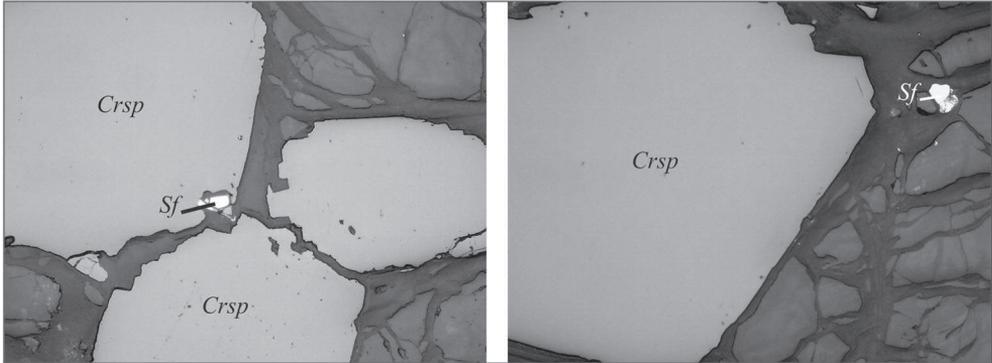


Рис. 54. Включение пирротина в хромите (слева) и в серпентине (справа).

Фото шлифа в отраженном свете. Увеличение 100 \times (1 мм по высоте кадра)

хромовой шпинели, характерна также и для рудообразующих шпинелидов Войкаро-Сыньинского массива, что было установлено нами ранее (Вахрушева и др., 2006).

Чрезвычайно интересным, на наш взгляд, является факт близости конфигурации спектра распределения лантаноидов в рудообразующей хромовой шпинели и плагиоклазите, локализованном в пределах месторождения Центральное (см. главу 4).

Температуры образования оливин-шпинелевого парагенезиса в хромовых рудах из различных рудных тел месторождения Центральное, определенные при помощи оливин-шпинелевого геотермометра Большауза-Берри-Грина (Ballhaus et al., 1991) составили для хромититов северной части месторождения от 715 до 814 $^{\circ}$ C, для южной – 697–800 $^{\circ}$ C (при расчетном давлении в 1 ГПа). В то же время, в околорудных энстатит-оливиновых породах из южной части месторождения (рудное тело № 9, штольня 480 метров), определенные по однопироксеновому термобарометру Мерсье (1980), P-T-параметры составили 31,6–39,0 кбар и 680–753 $^{\circ}$ C. Совпадение оценок температур, полученных двумя методами, очевидно. При использовании в расчете «оливин-шпинелевой» температуры давления (3,5 ГПа), полученного по энстатитовому геобарометру, изменило оценки значений температур незначительно и составило для хромититов северной части месторождения 740–840 $^{\circ}$ C, для южной – 720–824 $^{\circ}$ C.

Хромистость рудообразующих шпинелидов месторождения Центральное составляет Cr/(Cr + Al) = 0,77–0,92 для южной части, и 0,76–0,96 – для северной. По экспериментальным данным (Дорошев и др., 1997; Туркин, 2011) хро-

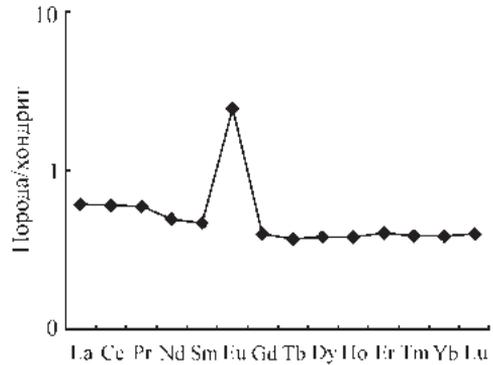


Рис. 55. Распределение редкоземельных элементов в монофракции рудообразующей хромовой шпинели; р.т. 7, месторождение Центральное.

Нормировано на хондрит по W.F. McDonough, S.-s. Sun (1995)

мовая шпинель с хромистостью $>0,7$, сосуществующая с оливином с железистостью $f = \text{Fe} \cdot 100 / (\text{Fe} + \text{Mg})$ менее 10%, формируется при давлении выше 35 кбар.

Отсутствие граната в высокобарическом парагенезисе хорошо согласуется с экспериментальными данными в высокохромистых системах (Klemme, 2004).

Полученные оценки давления не могут определяться только литостатикой, поскольку акцессорная хромовая шпинель в энстатит-оливиновой породе по составу соответствует феррихромиту – шпинелиду с высокой степенью окисленности железа (см. главу 3), устойчивому в коровых условиях, и свидетельствуют о значительном вкладе в общее давление в системе при рудогенезе деформационных напряжений.

5.2. Рудопроявления Южного рудного поля

Рудопроявление Центральное-2. Рудопроявление Центральное-2 примыкает непосредственно к северной границе месторождения Центральное, проходящей по Полойшорскому разрыву. Структурный рисунок участка определяет разрывная тектоника северо-восточного простирания, которая к югу от рудопроявления Центральное-2 осложняется опережающими Полойшорский разлом более мелкими разрывами субширотного простирания. Тектонические нарушения сопровождаются зонами оталькования и антигоритизации, наложенными на более ранние метаморфические парагенезисы, развитые по породам дунит-гарцбургитового комплекса, вмещающего хромовое оруденение рудопроявления Центрального-2.

Рудные тела имеют морфологию уплощенных линз с небольшой (от десятков сантиметров до первых десятков метров) по мощности дунитовой оторочкой. Околорудные дуниты представлены слабосерпентинизированными пегматоидными разностями с размером зерен оливина до 10 см и более. Наиболее изученным нами и опробованным является рудное тело № 66 – субширотного простирания, северо-северо-западного падения. Видимая мощность рудного тела до 12 метров (по нашей документации канавы К-70 в 1985 году). Рудное тело № 66 залегает на контакте амфибол-энстатит-оливиновых пород, развитых к северу, и амфибол-оливин-антигоритовых – к югу.

Хромовые руды в основном средневкрапленные средnezернистые, массивные, чаще равномерновкрапленные, с отдельными линзовидными шширами густовкрапленных, более крупнозернистых разностей. К лежащему боку рудного тела наблюдается некоторое увеличение густоты вкрапленности хромовой шпинели в рудах при сохранении, в целом, средневкрапленной структуры.

Силикатная часть руд сложена оливином и, в меньшей степени, хлоритом. Хлорит развит, в основном, в виде кайм непосредственно вокруг рудных зерен и замещает часть включений оливина в рудообразующем шпинелиде. В целом, силикатных включений внутри зерен хромовой шпинели не много: это редкие округлые зерна раннего оливина, хлорит, замещающий оливин, и очень тонкие (менее 0,01 мм в поперечнике) просечки серпентина. Деформация руд проявлена лишь в узких тектонических зонах, не затрагивая основную массу хроми-

титов. Она проявляется в повышении количества хлорита и дроблении рудных зерен, практически не оказывая влияния на состав минерала.

Рудообразующая хромовая шпинель по химическому составу варьирует от средне- до высокохромистой. Содержание Cr_2O_3 в минерале изменяется от 49,01 до 57,31 мас. %, модальное значение составляет 53,5 мас. %; содержание Al_2O_3 – от 8,46 до 18,48 мас. %, с модой – 14,5 мас. %. Зональность зерен встречается редко и проявлена в незначительном повышении железистости минерала к краям зерен.

Рудопроявление Рыбий Хвост. Рудопроявление Рыбий Хвост расположено в 2 км к востоку от рудопроявления Центральное-2 и отделено от последнего Центральным дунитовым телом, вмещающим рудопроявление Полойшорское-2 и серий тектонических зон субмеридионального и северо-восточного простирания. Рудовмещающие ультрамафиты представлены, в основном, дунитами и породами метаморфизованного дунит-гарцбургитового комплекса с содержанием дунитов 30–50%, иногда более.

Рудные тела линзовидно-уплощенной формы, субширотного простирания, с крутым падением на север. Хромовые руды, в основном, редко-средне-вкрапленные, от равномерновкрапленных до полосчатых и шлировых (рис. 56).

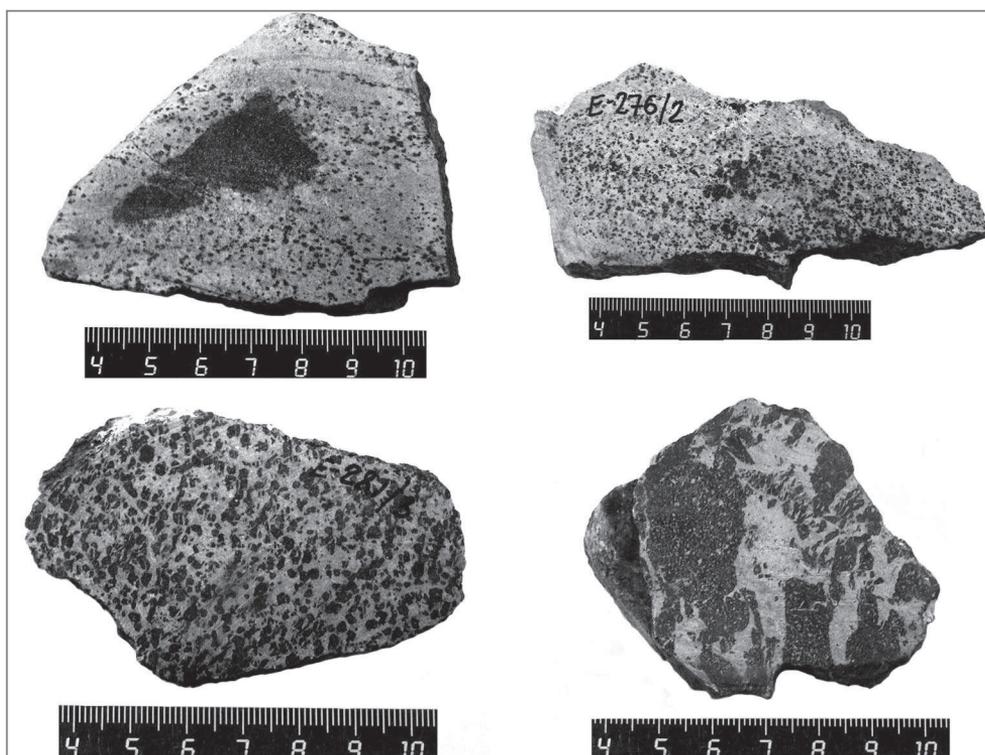


Рис. 56. Структурно-текстурные разновидности хромовых руд рудопроявления Рыбий Хвост.

Вверху – вкрапленно-полосчатая убого-редковкрапленная руда, внизу – деформированная хромовая руда с хлоритовым матриксом

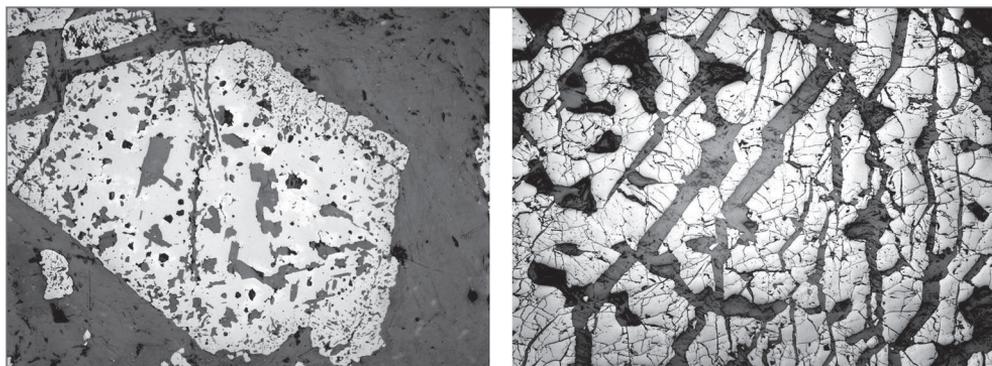


Рис. 57. Хромовая шпинель из деформированных хромититов в сростании с хлоритом.

Фото полированных шлифов в отраженном свете. Слева – увеличение 100^х, справа – 25^х

Активная тектоника в пределах участка затронула как околорудные пегматоидные дуниты, так и хромовые руды. В пегматоидных рудовмещающих дунитах отмечаются линейные зоны оталькования и антигоритизации, сопровождающиеся рекристаллизацией оливина вплоть до полной перекристаллизации пород. Аналогичные процессы наблюдаются и в рудных телах: руды, удаленные от разломных зон сохраняют первичную полосчатость и округлую или субидиоморфную форму зерен хромовой шпинели, силикатная часть сложена, в основном, слабо серпентинизированным оливином и хлоритом, образующим каймы вокруг рудных зерен и замещающим оливин во включениях. В деформационных зонах хромовая шпинель перекристаллизуется с образованием скелетных шпинель-хлоритовых сростаний (рис. 57).

Химический состав рудообразующих хромовых шпинелей варьирует от глиноземистого в недеформированных хромититах до высокохромистого железистого в интенсивно деформированных частях рудных тел.

Для большинства изученных зерен характерна сильная химическая зональность: в центральных частях состав минерала глиноземистый, в краевых нередко соответствует хроммагнетиту.

Содержание Cr_2O_3 в «сырой» руде не превышает 40%, составляя в среднем около 18%. Повышение хромистости руд сопровождается и повышением железистости, что объясняется интенсивным метаморфизмом хромитита в значительной части рудопроявления Рыбий Хвост.

Рудопроявления Полойшорское-1 и Полойшорское-2. Рудопроявление Полойшорское-1 находится к северу от месторождения Центральное и к югу от рудопроявления Центральное-2. Хромовые руды локализованы в краевой части крупного дунитового тела, расположенного к востоку от участка Полойшорский-1, и в породах метаморфизованного и интенсивно тектонизированного дунит-гарцбургитового комплекса. Форма рудных тел осложнена тектоническими нарушениями, что затрудняет их корректную рисовку на поисковой стадии работ.

Слабдеформированные хромовые руды довольно глиноземистые, даже по сравнению с рудами рудопроявления Центральное-2. Силикатная часть в

хромититах сложена, в основном, оливином. Большая часть изученных хромитов интенсивно катаклазирована и хлоритизирована (рис. 58); глиноземистая хромовая шпинель замещается более высокохромистой и железистой, вплоть до хроммагнетита. По составу хромовая шпинель деформированных хромитов аналогична брекчированным рудам рудопроявления Рыбий Хвост. Среди хромовых руд преобладают редко- и средневкрапленные от равномернозернистых массивных, до слабобрасланцованных, брекчиевидно-шлировых.

Рудопроявление Полойшорское-2, расположенное к востоку от рудопроявления Полойшорское-1 и юго-западу от рудопроявления Рыбий Хвост. Представляет собой мощную зону убогой вкрапленности хромовой шпинели в теле пегматоидных дунитов, в которой отмечаются участки вкрапленно-полосчатых редковкрапленных руд и, иногда, шпирь средневкрапленных. Содержание в рудах Cr_2O_3 редко превышает 10 мас. %.

Состав рудообразующей шпинели среднехромистый с содержанием Cr_2O_3 47–50 мас. %. В силикатной части руд преобладает слабосерпентинизированный оливин; вокруг хромовой шпинели развиты тонкие хлоритовые каймы. Увеличение доли хлорита в хромовых рудах наблюдается в зонах тектонических нарушений.

Исследование вещественного состава хромититов из рудопроявлений Южного рудного поля массива Рай-Из: Центральное-2, Рыбий Хвост, Полойшорское-1 и Полойшорское-2 позволило установить, что наиболее близки по составу к рудам месторождения Центральное (рудные тела № 3 и 8) среднегустовкрапленные разности хромитита рудопроявления Центральное-2 (рудное тело № 66). Все хромовые руды из рудопроявлений Южного рудного поля являются более глиноземистыми по сравнению с хромититами месторождения Центральное, при этом в пределах рудного поля отслеживается латеральная зональность по составу: содержание алюминия в рудах возрастает, а хрома снижается при удалении рудопроявлений от месторождения Центральное. Наиболее глиноземистыми являются хромиты самого восточного рудопроявления Рыбий Хвост.

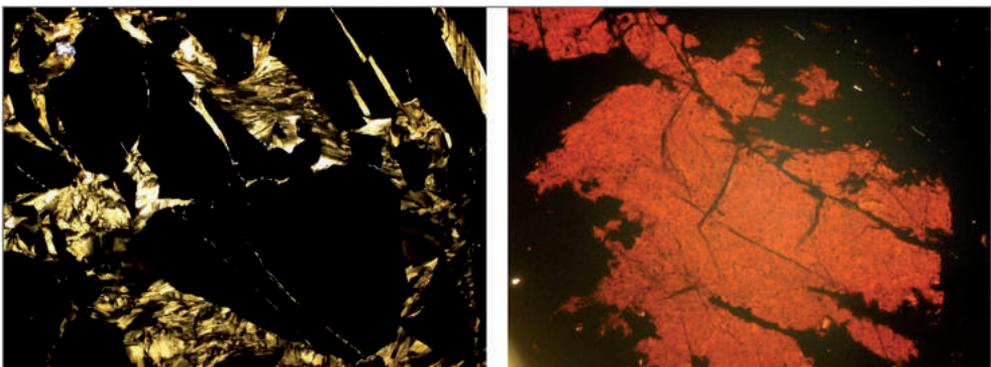


Рис. 58. Интенсивно деформированный хромитит; р.п. Полойшорское-1.

Справа – реликтовое зерно хромовой шпинели глиноземистого состава с высокохромистой железистой каймой. Слева – с анализатором, справа – без анализатора. Увеличение 100 \times

Руды из рудопроявлений Рыбий Хвост и Полойшорское-1 подверглись интенсивным тектоническим деформациям и метаморфическим изменениям, что привело к их дроблению, вплоть до образования рудных брекчий и значительно повышению железистости хромита (иногда до хроммагнетита).

Во всех рудопроявлениях Южного рудного поля преобладают редко-средне-вкрапленные разновидности хромовых руд с оливиновым или хлорит-оливиновым цементом.

5.3. Рудопроявления Енгайского рудного поля

Енгайская площадь, расположенная к востоку-северо-востоку от месторождения Центральное на простирании Центральной рудной зоны и Южного рудного поля массива Рай-Из. Она вмещает рудопроявления как хромистого, так и глиноземистого химических типов, которые залегают среди пород интенсивно дислоцированного дунит-гарцбургитового комплекса, перекристаллизованного в ходе динамотермального метаморфизма. Дунитовые тела, вмещающие вкрапленно-полосчатое хромовое оруденение, также интенсивно дислоцированы. Дунитовые блоки слагают зоны северо-восточного простирания, прерываемые субмеридиональными разломами.

Хромовые руды Енгайского рудного поля контрастны по составу: в дунитовых телах локализованы хромистые, в основном убоговкрапленные, реже – средне-густовкрапленные руды; в дунит-гарцбургитовом комплексе с невысоким содержанием дунитовой составляющей, редко превышающем 30%, располагаются рудопроявления глиноземистых руд, преобразованные при метаморфизме в хромистые (Вахрушева и др., 2009).

Как следует из гистограммы распределения оксида хрома в «сырой» руде, в пределах Енгайского рудного поля преобладают хромовые руды убоговкрапленные и средне-густовкрапленные с содержанием Cr_2O_3 5–10 и 35–40 мас. % соответственно. По распределению содержания кремнезема также выделяются две моды: для убоговкрапленных хромовых руд характерно содержание SiO_2 35–40, а для средне-густовкрапленных – 10–15 мас. %.

Рудопроявление Енгайское-1. Рудопроявление расположено в западной части Енгайской площади, на пологом склоне водораздела р. Енгаю и руч. Полой-Шор, на восточном простирании рудной зоны месторождения Центральное. Известная с 1975–1978 гг. рудная зона локализована в пегматоидных дунитах и представлена серией рудных тел небольшой мощности. Вмещающее хромититы дунитовое тело интенсивно дислоцировано и, представляя собой серию тектонических блоков, находится в тектонических контактах с вмещающими метаморфитами по дунит-гарцбургитовому комплексу (рис. 59). Общее простирание дунитов субширотное.

Хромититы рудопроявления Енгайское-1 слагают рудные тела субмеридионального простирания (Селиванов, Вахрушева, 2010). В пределах основного рудопроявления преобладают вкрапленно-полосчатые убогоредковкрапленные разновидности (рис. 60). Средне- и густовкрапленные хромититы встречаются в виде полос, шпиров, раздувов в пачках бедных вкрапленных руд.

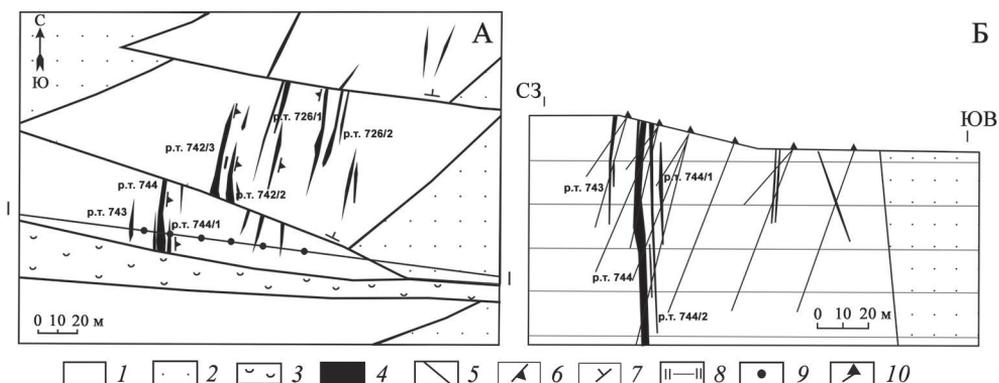


Рис. 59. Геологический план (А) и разрез (Б) рудопоявления Енгайское-1 (Селиванов, Вахрушева, 2010).

1 – дуниты, 2 – породы метаморфизованного дунит-гарцбургитового комплекса, с содержанием дунитовой составляющей более 30%, 3 – сильносерпентинизированные дуниты с прослоями серпентинитов, 4 – рудные тела, 5 – тектонические нарушения, 6 – элементы залегания рудных тел, 7 – элементы залегания пород, 8 – линия геологического разреза, 9 – скважины в плане, 10 – скважины в разрезе

Редко- и убоговкрапленные руды в рудных телах, как правило, совмещены, слагая единые вкраплено-полосчатые пачки, разделенные дунитовыми прослоями. Размер зерен хромшпинели в них составляет 0,1–1,0 мм, преобладают в рудах зерна 0,3–0,5 мм в поперечнике. Зерна идиоморфны относительно силикатной матрицы. Интарудные дуниты серпентинизированы очень слабо.

Силикатная составляющая хромитита представлена серпентинизированным оливином, в котором в той или иной мере проявлена спайность. Окраска серпентинизированного оливина зависит от степени и минерального вида серпентина. При петельчатой серпентинизации она желтовато-серая, при антигортитизации – зеленовато-серая.

Вокруг зерен хромшпинели наблюдаются каймы хлорита – хромового клинохлора, мощность которых зависит от размера зерна шпинелида, а ориентировка лейст клинохлора – направления стрессового давления.

В хромитите рудного тела № 743 наблюдается зона перекристаллизации хромовой шпинели, оливина и клинохлора с увеличением размера чешуй последнего до 2–3 мм и более. Зона имеет линейную ориентировку и сечет рудную полосчатость. В рудах рудного тела № 724 широко развита карбонатизация, представленная в виде тонких волнисто-линзовидных прожилков переменной мощности (0,1–3,0 мм) и пятнистых и клиновидных обособлений. В крупных прожилках карбонат имеет слюдоподобную спайность, по-видимому, представлен манассеитом или гидроталькитом. Зерна хромшпинели при достаточной мощности прожилка облекаются карбонатным веществом, а не секутся. Более поздними, по отношению к карбонату, являются прожилки переменной мощности (первые миллиметры) и волнистой формы, которые секут все элементы хромовых руд, включая зерна хромшпинели. Они сложены хромовым клинохлором, чешуйки которого ориентированы вдоль прожилка.

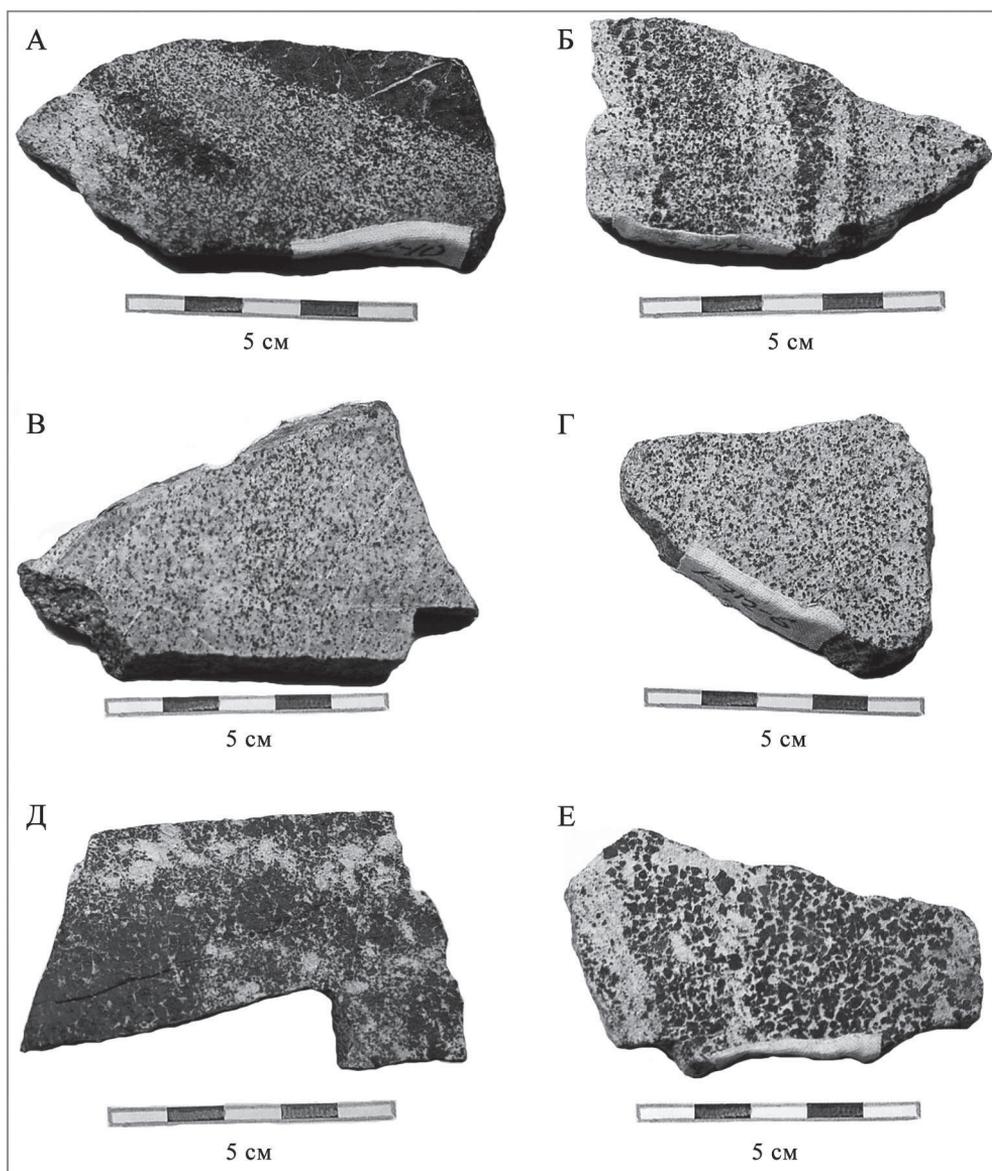


Рис. 60. Типы хромовых руд. Рудопроявление Енгайское-1.

А, Б – вкрапленно-полосчатые, В – убоговкрапленные, Г – редковкрапленные, Д – шлирово-полосчатые хромититы

Хромититы полосчатой текстуры неоднородны по соотношению рудообразующего шпинелида и силикатных минералов: убого-редковкрапленные хромовые руды чередуются с полосами и линзами сплошного хромитита. Структура хромитита в пределах одного образца заметно варьирует как по размеру рудных зерен, так и по их концентрации. Внутреннее строение самих полос также неоднородно: в сплошных и густовкрапленных рудах размер зерен со-

ставляет 0,5–10,0 мм; обычно он тем выше, чем мощнее полоса. Размер зерен уменьшается до 0,1–1,0 мм в полосах с убогой и редкой вкрапленностью хромовой шпинели.

В полосах, сложенных густовкрапленным хромитом, наблюдается уменьшение размера зерна рудообразующего минерала к контактам, особенно если в следующей полосе густота вкрапленности резко падает. Иногда среди густовкрапленных хромитов в полосе встречаются овоидные обособления оливина как, например, в образце Е-72/1 (см. рис. 60, Д). Размер зерен хромовой шпинели при приближении к этому обособлению резко уменьшается. Структурная неоднородность полос проявляется в изменении густоты вкрапленности по простиранию и падению. Количество рудных вкрапленников в них уменьшается, а сами они могут постепенно выклиниваться. В дальнейшем первичная картина усложняется пострудными тектоническими подвижками, в результате которых происходит смещение отдельных блоков относительно друг друга и изменяется первичное распределение рудных зерен.

Строение полос с повышенной вкрапленностью отличается определенным своеобразием. Необычный вид оно имеет в образце Е-72/1 (см. рис. 60, Д), где подобная полоса состоит из отдельных округлых и угловатых обособлений оливина, размером до 5 мм. Между собой они сочленяются на разных уровнях, что приводит к возникновению между ними различных конусообразных углублений, в которых находится редкая вкрапленность мелких зерен хромшпинели.

Густовкрапленные хромиты рудопроявления Енгайское также имеют неоднородное строение, связанное с появлением шпиров, в которых содержание хромшпинели уменьшается до средневкрапленной с одновременным уменьшением размера зерен. Иногда в хромитите проявляется полосчатость, выраженная присутствием маломощных (3–5 мм) волнисто-линзовидных прожилков, сложенных оливином и хлоритом. В густовкрапленном хромитите размер зерен составляет 7–10 мм. Обычно, крупное зерно представляет собой агломерат нескольких более мелких, что устанавливается по входящим углам между ними. В крупных зернах нередко наблюдается отдельность, которая имеет разную ориентировку в пределах такого агломерата. Истинный размер зерен не превышает 5 мм. В пятнах редковкрапленного хромитита, встречающегося в густовкрапленном, размер зерен резко понижается до 0,5–1,0 мм. Форма обособлений овальная, размер в поперечнике составляет 1,5–2,5 см. Вкрапленность в них представлена одиночными или сдвоенными кристаллами; границы чаще всего прямолинейны.

Силикатные обособления в густовкрапленной руде, зачастую имеют линзовидную или клиновидную форму. Центральная часть их сложена оливином, а внешняя кайма – хромовым хлоритом. В случае небольших размеров этих включений или присутствия их внутри зерен хромшпинели они полностью сложены хромовым клинохлором. Окраска последнего усиливается с увеличением размера чешуек.

В крупных зернах хромовой шпинели нередко наблюдается сеть тонких субпараллельных прожилков, направление которых совпадает с направлением полосчатости. Некоторые зерна содержат единичные округлые включения оливина или хромового клинохлора, размер которых составляет 0,1–1,0 мм.

В силикатной матрице наряду с оливином, встречается серпентин, имеющий линзовидно-петельчатое строение. Вблизи крупных трещин, по которым происходило смещение блоков относительно друг друга, серпентин заполняет мелкие трещинки, субпараллельные основному нарушению. Вокруг зерен хромшпинели отмечаются каемки переменной мощности, сложенные хромовым клинохлором. В поздних, косоориентированных по отношению к полосчатости, маломощных (0,1–0,5 мм) прожилках, наряду с серпентином, встречается хлорит.

Химический состав хромовых руд рудопроявления Енгайское-1 (см. прил. 5) и других, более мелких рудных тел хромититов, расположенных в пределах участка Енгайский-1, заметно варьирует. Распределение оксида хрома в «сырой» руде, определенное в штучных пробах, бимодальное (рис. 61) и отражает количественное соотношение бедных и богатых руд в пределах участка. Преобладает мода с содержанием Cr_2O_3 в 5–10 мас. %, соответствующая убоговкрапленным и редковкрапленным хромититам с прослоями интратрудных дунитов. Вторая мода, с содержанием Cr_2O_3 30–35 мас. %, соответствует средне-густовкрапленным разностям и проявлена существенно слабее.

Для отдельных проб хромитита характерно повышенное (до 2 мас. %) содержание оксида кальция, что связано с развитием по зонам трещиноватости кальциевого амфибола – тремолита.

Изучение изменения состава хромититов по скважинам Р-4000, 4025 и 4028 показало увеличение с глубиной хромистости и приближение их состава к хромититам месторождения Центральное. Большинство отобранных на поверхности – при опробовании канав и естественных коренных выходов, хромититов соответствуют одному тренду, тогда как в скважинах выделяются рудные интервалы, отличающиеся более высоким содержанием оксида хрома по отношению к глинозему, при той же густоте крапленности.

К сожалению, трех неглубоких скважин недостаточно, чтобы достоверно оценить тенденцию «улучшения» состава хромовых руд с глубиной. Нам удалось лишь установить факт существования более высокохромистых составов, но не выделить и закартировать более благоприятный горизонт.

Так или иначе, установленная нами петрохимическая гетерогенность разреза по скважинам и оценка изменения параметров – давления кислорода и температуры оливин-хромшпинелевого равновесия (Ширяев, Вахрушева, 2009) свидетельствуют об изменении потенциальной хромитонности разреза с глубиной.

Химический состав рудообразующей хромовой шпинели и силикатов хромититов определен рентгено-спектральным методом (см. прил. 1, 2) на микроанализаторе Camebax microbeam («Cameca») в ЦЛАВ ГЕО-ХИ РАН, аналитик Н.Н. Кононкова.

Подавляющее большинство проанализированных хромовых шпинеле-

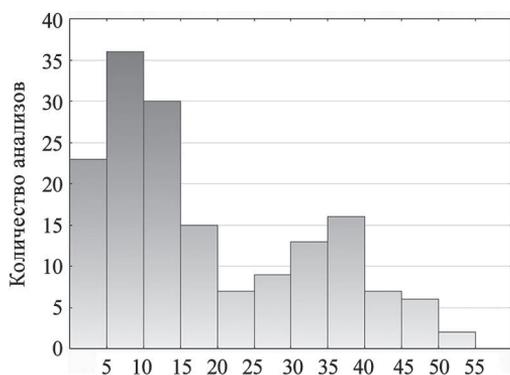


Рис. 61. Распределение Cr_2O_3 в хромититах рудопроявления Енгайское-1

лей из рудопроявления Енгайское-1 соответствуют магнезиохромиту. Распределение всех рудогенных компонентов – оксидов хрома, алюминия, железа и магния характеризуется наличием устойчивых модальных значений (рис. 62): 52–54 мас. % Cr_2O_3 , 12–14 % Al_2O_3 , 15–20% FeO сум., 11–12% MgO. В незначительных количествах отмечаются примеси титана, марганца, ванадия, никеля, цинка, содержание которых приведены в текстовом прил. 1.

И, несмотря на такие устойчивые модальные значения, соответствующие «средним» составам, енгайские рудообразующие шпинели уникальны по соотношению основных компонентов.

Основной отличительной особенностью рудообразующих хромовых шпинелей рудопроявления Енгайское-1 является отсутствие корреляционной зависимости между хромом и алюминием, установленной для большинства рудопоявлений Войкаро-Сыннинского массива и месторождения Центральное. Объясняется отсутствие зависимости слабыми вариациями содержаний хрома при значительных алюминия, магния и железа в минерале.

Для рудообразующих хромовых шпинелей рудопроявления Енгайское-1 установлены корреляционные зависимости, не характерные для других рудных объектов массива Рай-Из, отражающие условия рудогенеза. Это устойчивая прямая корреляция между хромом и магнием в шпинелидах рудопоявления. Прямая корреляционная зависимость характерна для первично магматических хромититов и проявляется в рудообразующих шпинелидах комплекса Бушвельд (Камерон, 1973). Второй тип корреляционных соотношений компонентов, установленный для хромовых шпинелей рудопоявления Енгайское-1, соответствует, по-видимому, условиям метаморфогенного рудообразования, и отражает степень окисленности железа и размещение катионов Fe^{2+} и Fe^{3+} в структуре минерала (см. главу 6).

Рудопоявление Енгайское-3. Рудопоявление расположено в юго-восточной части Енгайской площади, в междуречье р. Енга-Ю и руч. Иашор.

В северной части рудопоявления Енгайское-3, в породах интенсивно метаморфизованного и дислоцированного дунит-гарцбургитового комплекса, локализовано рудное тело № 3, наиболее крупное в пределах рудопоявления.

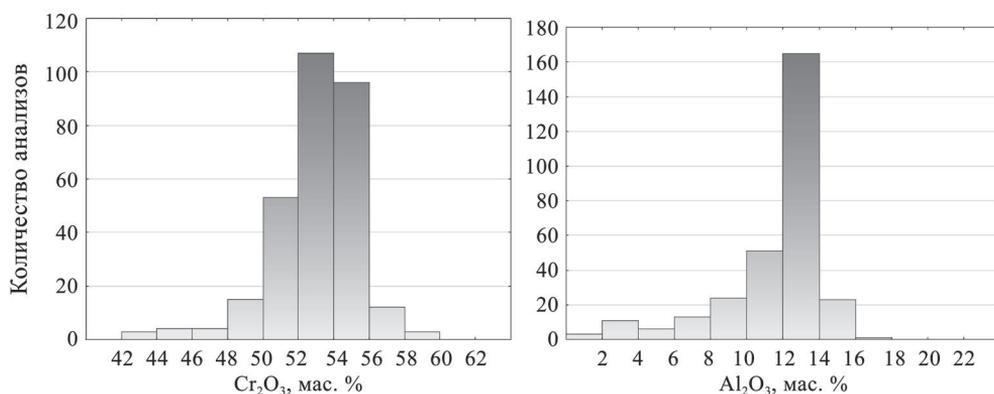


Рис. 62. Вариации содержаний оксидов хрома и алюминия в рудообразующих хромовых шпинелях из рудопоявления Енгайское-1

Рудное тело расположено непосредственно в зоне тектонического нарушения (рис. 63), по которому развиты тальк-оливиновые брекчии (см. главу 2). Значительная часть хромовых руд претерпела интенсивные деформации, сопровождающиеся перекристаллизацией как вмещающих пород, так и самих руд. В результате в пределах одного рудного тела наблюдаются глиноземистые, хромистые и железистые составы хромититов.

Для хромититов рудного тела № 3 характерны массивные и шпировые текстуры, средне- и густовкрапленные структуры (рис. 64), а также брекчиевиднотакситовые текстуры для интенсивно деформированных разностей. Форма зерен хромшпинелида в густовкрапленной руде определяется степенью катаклаза и меняется от изометричной до удлиненно-призматической. Наряду с этим, присутствуют зерна более сложной морфологии. Размер зерен в слабо катаклазированных разностях составляет от 1 до 10 мм, снижаясь по мере увеличения тектонического воздействия до 0,5–5,0 мм.

В густовкрапленных рудах преобладают крупно- и среднезернистые разности, количество мелкой и тонкозернистой фракции сравнительно невелико. Все разности густовкрапленных хромититов обладают слабо выраженной полосчатостью, которая подчеркивается формой, размером и взаимным расположением рудных зерен.

Силикатная составляющая в рудной массе представлена тонкими линзовидными прожилками розово-лилового хромового клинохлора. Мощность прожилков изменяется от 0,1 до 1,0 мм. С уменьшением размера рудных обломков мощность прожилков возрастает до 2 мм и более. На отдельных участках в агрегате хромового клинохлора наблюдаются поздние прожилки, мощностью до 1–2 мм, в которых размер чешуек увеличивается и усиливается его окраска.

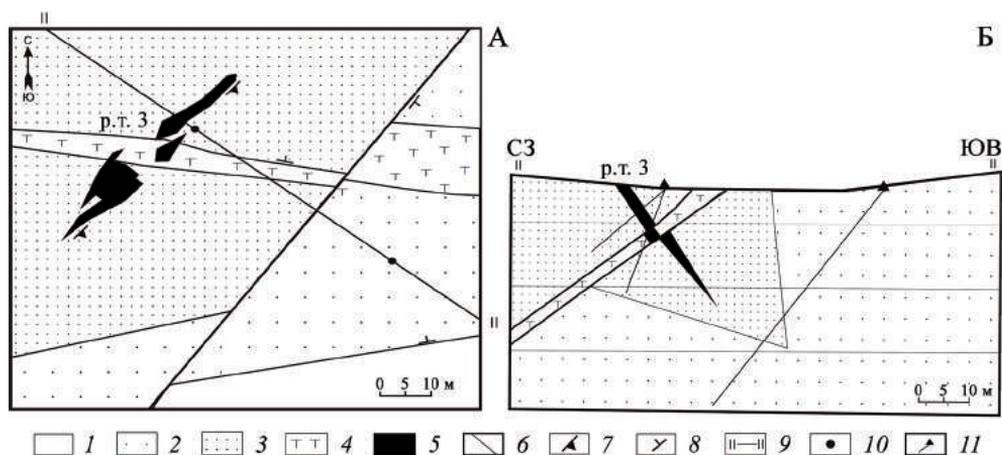


Рис. 63. Геологический план и разрез рудопроявления Енгайское-3 (Селиванов, Вахрушева, 2010).

1 – дунит, 2 – породы метаморфизованного дунит-гарцбургитового комплекса, с содержанием дунитовой составляющей более 30%, 3 – породы метаморфизованного дунит-гарцбургитового комплекса, с содержанием дунитовой составляющей менее 10%, 4 – талькитовая брекчия, 5 – рудное тело, 6 – тектонические нарушения, 7 – элементы залегания рудных тел, 8 – элементы залегания пород, 9 – линия геологического разреза, 10 – скважины в плане, 11 – скважины в разрезе

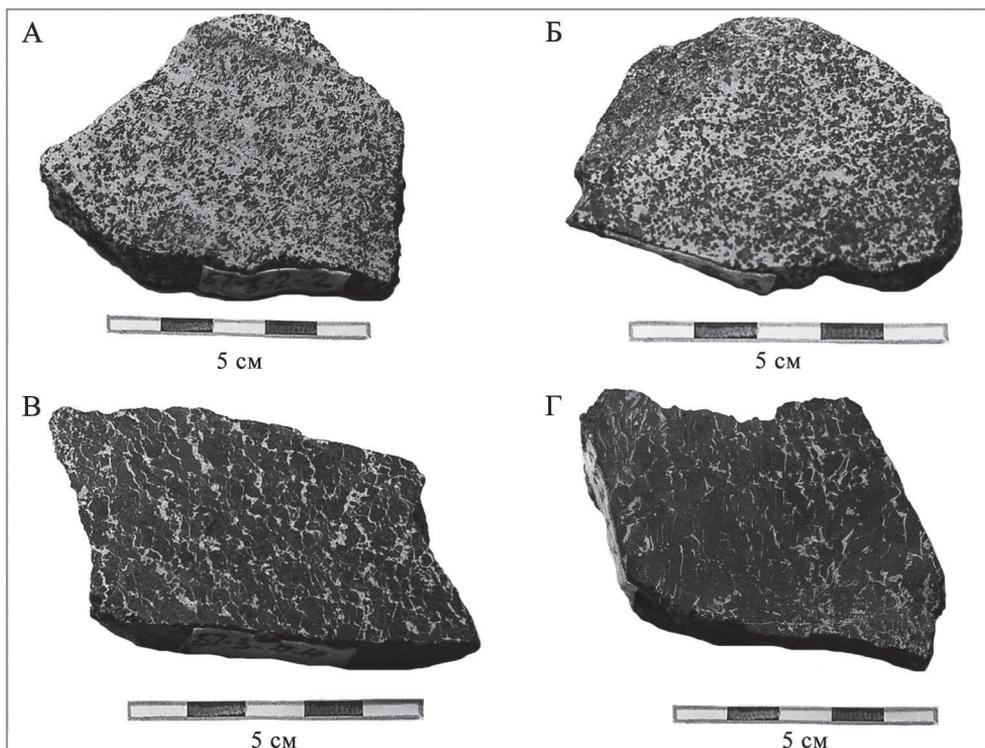


Рис. 64. Типы хромитов из рудного тела № 3; рудопроявление Енгайское-3.

А – редковкрапленный мелкозернистый хромитит; Б – средневкрапленный хромитит неяснополосчатой текстуры; В, Г – густовкрапленный деформированный хромитит

В средне- и редковкрапленных рудах резко уменьшается размер рудокластов (0,1–2,0 мм) и увеличивается структурная неоднородность хромовой руды. Полосчатость проявлена неясно, слабо, более характерно шлировое строение агрегатов. В пределах шлиров обычно возрастает густота вкрапленности или наблюдается сегрегация зерен в единый агломерат, отделенный от остальной массы силикатной оторочкой. Размер шлиров составляет от 5–6 до 10–15 мм, иногда в пределах шлира возрастает и размер отдельных рудокластов. Крупные обломки хромовой шпинели в редко-средневкрапленной руде, при внешней кажущейся однородности, зачастую разбиты системой субпараллельных прожилков на отдельные блоки. В этом типе руд преобладают обломки с размером менее 1 мм. Текстура хромититов катакластическая, брекчиевидная.

При изучении типов руд из рудного тела № 3 рудопроявления Енгайское-3, в густовкрапленной руде со следами пликативных дислокаций был встречен оранжево-красный рутил. Он образует единичные короткопризматические зерна размером 0,1–0,3 мм и менее в мелкочешуйчатом агрегате хромового клинохлора; встречается в виде микровключений во внешней кайме зерен хромовой шпинели, слагает тонкие прожилки (рис. 65, 66) в рудообразующем минерале. Диагностика рутила в шлифе затруднена из-за малого разме-

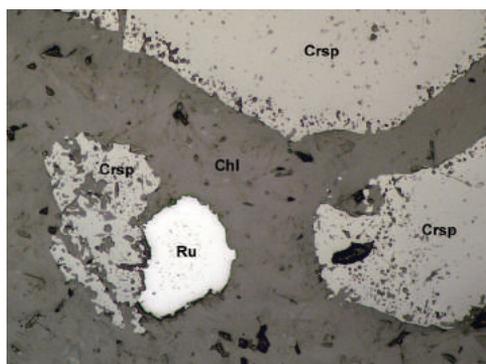


Рис. 65. Хромовый рутил в густовкрапленной хромовой руде.

Фото аншлифа в отраженном свете. Увеличение 100 \times .
Ru – хромовый рутил, Crsp – хромшпинель, Chl – хлорит

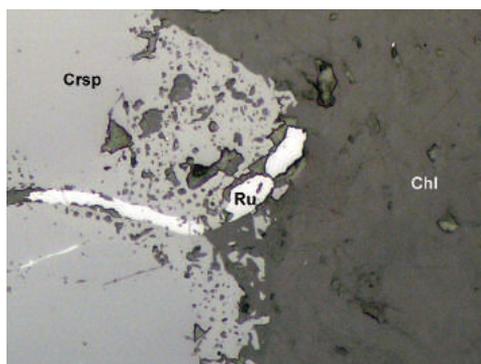


Рис. 66. Хромовый рутил развивается по трещине в хромовой шпинели.

Фото аншлифа в отраженном свете. Увеличение 100 \times .
Ru – хромовый рутил, Crsp – хромшпинель, Chl – хлорит

ра зерен и близости окраски минерала шпинелиду в проходящем свете, тогда как в аншлифе он прекрасно идентифицируется по более высокой, чем у хромовой шпинели, отражательной способности. Дифракционное изучение минерала показало его полную тождественность рутилу. Основные дифракционные линии: 3,25(10)–2,49(8)–2,18(4)–1,685(9)–1,623(4) соответствуют эталонным (Суставов, Вахрушева, 2010).

Химический состав рутила и хромовой шпинели определен рентгено-спектральным микроанализом на микроанализаторе Camebax microbeam («Cameca») в ЦЛАВ ГЕОХИ РАН, аналитик Н.Н. Кононкова, и приведен в табл. 19. Состав элементов-примесей в рутиле специфичен и отражает в той или иной мере состав сосуществующей хромовой шпинели.

Для рудообразующих хромовых шпинелей из рудного тела № 3, с которыми ассоциирует рутил, содержание оксида титана варьирует от 0,14 до 0,37 мас. %, что несколько выше, чем для других рудопроявлений Енгайского рудного поля массива Рай-Из (см. приложение 1).

Рудообразующая шпинель характеризуется необычной зональностью (табл. 20): при снижении от центра к краю зерен содержания алюминия, магния и возрастания хрома, количество суммарного железа в зерне практически не изменяется. При пересчете на формулу установлено возрастание к краю зерна количества двухвалентного и снижение – трехвалентного железа. Количество цинка и ванадия заметно возрастают во внешней кайме зерен рудообразующего шпинелида: ZnO от 0,01 в центральных частях до 0,14 мас. % в кайме; V₂O₃ от 0,05 до 0,14 мас. %; содержание титана в кайме ниже, чем в центре зерна.

Клинохлор в хромовых рудах с рутилом содержит от 1,16 до 4,08 Cr₂O₃ и от 0,04 до 0,11 мас. % TiO₂, тогда как в хлорите из хромовых руд других рудопроявлений Енгайской площади содержание оксида титана составляет не более 0,01–0,04 мас. %.

При формировании типичной гидротермальной метаморфической зональности в хромовой шпинели, хорошо изученной на многих ультрамафитовых мас-

Таблица 19

Химический состав рутила, мас. %

| № п/п | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Cr ₂ O ₃ | V ₂ O ₃ | MnO | NiO | ZnO | Сумма |
|---|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|--------|--------|--------|--------|
| 1 | 97,58 | 0,05 | 2,21 | 0,28 | 0,02 | 0,05 | 0,07 | 100,27 |
| 2 | 97,67 | 0,04 | 2,14 | 0,34 | 0,01 | 0,08 | 0,20 | 100,55 |
| Формульные коэффициенты в пересчете на 1 катион | | | | | | | | |
| № п/п | Ti | Al | Cr | V | Mn | Ni | Zn | |
| 1 | 0,979 | 0,0008 | 0,023 | 0,003 | 0,0002 | 0,0005 | 0,0007 | |
| 2 | 0,978 | 0,0006 | 0,023 | 0,0046 | 0,0001 | 0,0009 | 0,002 | |

Таблица 20

Химический состав хромовой шпинели с включениями рутила

| | MgO | Al ₂ O ₃ | SiO ₂ | Cr ₂ O ₃ | FeO | ZnO | TiO ₂ | V ₂ O ₃ | MnO | NiO | Сумма |
|--|-------|--------------------------------|------------------|--------------------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------------------|-------|------|-------|
| Содержание, мас. % | | | | | | | | | | | |
| Край | 13,75 | 10,24 | 0,06 | 54,99 | 19,12 | 0,14 | 0,14 | 0,14 | 0,25 | 0,22 | 99,05 |
| Центр | 16,38 | 15,80 | 0,04 | 46,64 | 19,26 | 0,01 | 0,25 | 0,05 | 0,20 | 0,33 | 98,96 |
| Формульные коэффициенты в пересчете на 3 катиона | | | | | | | | | | | |
| | Ti | Al | Cr | V | Fe ³⁺ | Fe ²⁺ | Mg | Mn | Ni | | |
| Край | 0,003 | 0,391 | 1,408 | 0,004 | 0,194 | 0,324 | 0,664 | 0,007 | 0,006 | | |
| Центр | 0,006 | 0,578 | 1,144 | 0,001 | 0,271 | 0,229 | 0,758 | 0,005 | 0,008 | | |

сивах, в краевых частях зерен наблюдается возрастание магнетитового минала, сопровождающееся некоторым увеличением количества титана в шпинели.

Появление рутила в хромовых рудах является индикатором метаморфического процесса, в ходе которого происходит резкая смена состава рудообразующего хромшпинелида с глиноземистого на высокохромистый. Параметры процесса могут быть оценены из анализа минеральных ассоциаций, в которых встречен хромовый рутил – это эклогиты (Удовкина, 1985), кимберлиты (Vlassopoulos et al., 1993) и хромовые руды. По экспериментальным данным рутил характерен для ультрамафитов, образовавшихся при очень высоких давлениях и температурах ($P > 30$ кбар и $T > 1250^\circ\text{C}$), а его количество возрастает с увеличением давления (Геншафт и др., 1999).

Исследованная минеральная ассоциация отражает этап высокобарического метаморфизма, наложенного на высокоглиноземистые хромовые руды и предшествующая гидротермальному изменению последних (Сустанов, Вахрушева, 2010).

Совершенно иное, как по структурно-текстурным особенностям, так и химическому составу, хромовое оруденение локализовано в дунитовом теле, расположенном в южной части участка Енгайский-3. В пределах дунитового блока повсеместно встречаются струи, пачки, зоны вкраплено-полосчатых убоговкрапленных хромитов. Такие хромиты фиксируют зоны трещиноватости. В пределах рудного тела № 11, также представленного вкраплено-полосчатыми рудами, имеет место обособление нодулярных хромитов (рис. 67) – самых высокохромистых руд, известных в пределах Енгайского рудного поля.

Линза-раздвов нодулярных руд согласна с полосчатостью убого-вкрапленных хромитов – азимут падения 195° , угол 82° . Видимая мощность основной линзы 55 см; параллельно контакту – сопровождающие апофизы.

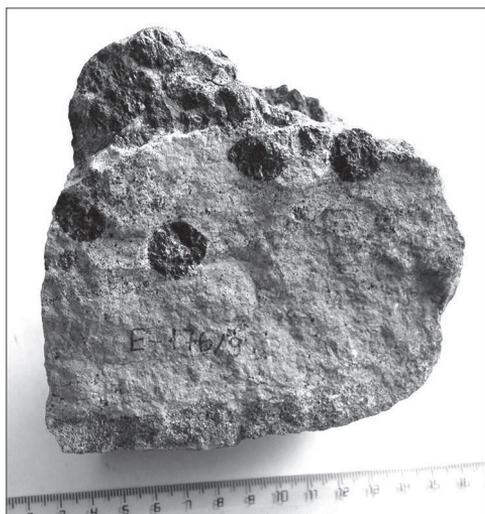


Рис. 67. Контакт вкрапленно-полосчатого и нодулярного хромититов. Рудное тело № 11; р.п. Енгайское-3

Внешняя зона представлена мономинеральной каймой хромшпинели мощностью 3–4 мм. Монокристалльное строение внешней зоны прослеживается по одинаковой ориентировке трещин отдельности, которые наблюдаются в ней.

Деформация проявляется в соударении двух или трех нодулей друг о друга или прохождении через них трещины. При ударном столкновении двух нодулей по центру, у обоих во внешней зоне появляются вогнутые вовнутрь сегментные трещины (рис. 69). Между нодулями возникает деформационная линза с мелкозубчатой линией по длинной оси, отражающей границу контакта. При столкновении нодулей по касательной у некоторых из них происходит образование крупных разрывов во внешней зоне или ее частичное разрушение (рис. 70). Центральная зона изменяет свою форму и резко увеличивается в объеме. В некоторых случаях при разрушении и удалении части внешней зоны материал ядра доходит до границ нодуля. Нодули, претерпевшие динамическое воздействие плоскостью сместителя делятся на две части, смещающиеся друг относительно друга. Иногда части нодулей с одной стороны от трещины двигаются не в одну сторону, а на встречу друг другу (рис. 71).

Поверхность нодуля, полученная в результате естественного препарир-

Обычно нодули имеют овальную форму с соотношением осей у овала 3 : 2, реже 2 : 1. В некоторых случаях они почти округлые или более сложной конфигурации: уплощенной или конусовидной с выпуклым основанием. Усложнение формы в ряде случаев связано с соединением двух нодулей вместе или его деформацией. Размеры нодулей колеблются от 6 до 20 мм по наибольшей оси.

Большинство крупных нодулей имеет зональное строение и состоит из двух зон. Внутренняя зона или ядро представлено средней или редкой вкрапленностью кристаллов хромшпинели, размеры которых составляют 0,3–1,0 мм, расположенных среди зерен оливина и хлорита (рис. 68). В общем случае конфигурация ядра отвечает форме нодуля.

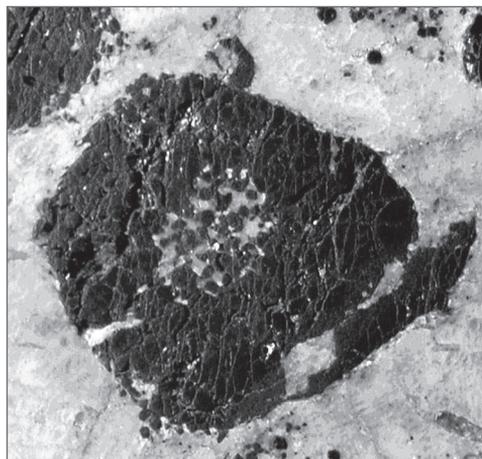


Рис. 68. Зональное строение нодуля диаметром 2 см

рования, состоит из слегка округлых граней, имеющих бугристое строение. В углублениях между буграми видна грубая индукционная штриховка. В том случае, если вершина бугра заканчивается плоской вициналью, то ее симметрия отражает симметрию грани. Бугристый характер граней нодуля отражает совместный рост более крупного метакристалла хромшпинелида с более мелкими зернами оливина. Размер бугров и впадин между ними на поверхности метакристалла отражает размер зерен силикатной матрицы в момент его образования.

Повышенная вкрапленность в промежутках между нодулями представлена идиоморфными кристалликами хромшпинели размером 0,1–1,0 мм, распределена крайне неравномерно. Кристаллики могут быть собраны в линзы, где густота вкрапленности повышается до средней, или собраны в цепочки между нодулями. В последнем случае между нодулем и мелкими кристалликами всегда присутствует тонкий прослой силикатов. Прямой контакт наблюдался в единичном случае и имел деформационный характер: в месте контакта кристаллик был расколот.

Мелкие зерна хромшпинели обычно не содержат включений нерудных минералов и исключительно редко рассеяны единичными поздними трещинками. Во внешней зоне нодулей довольно часто наблюдаются прожилки хромо-

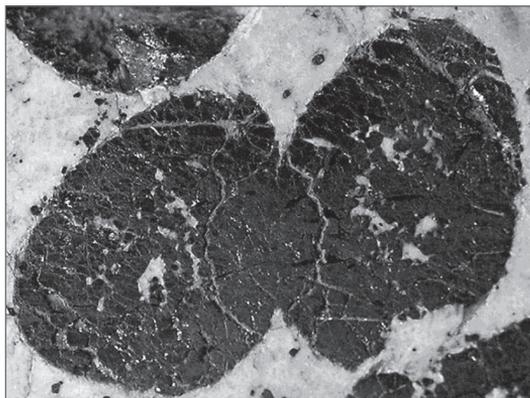


Рис. 69. Деформационная линза, ограниченная в месте удара двух нодулей

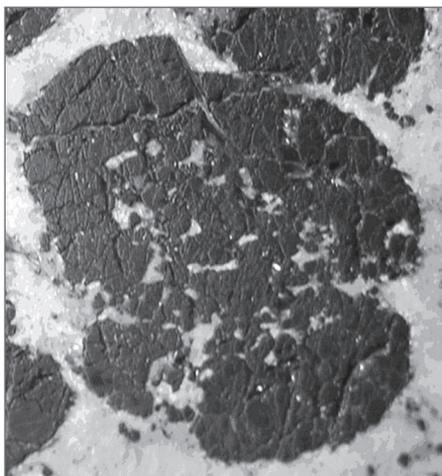


Рис. 70. Нодуль, разрушенный в результате столкновения с другими нодулями

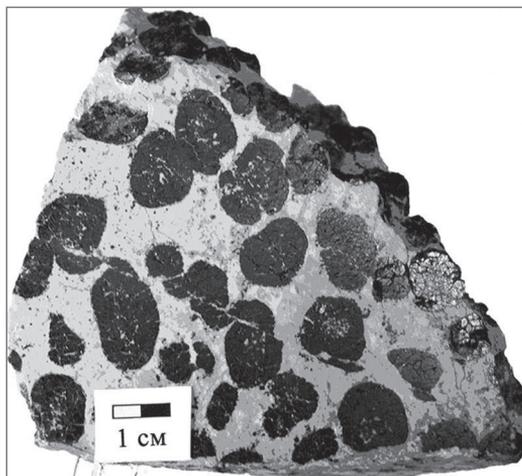


Рис. 71. Встречное движение срезанных плоскостью сместителя частей нодулей, образец Е-176/19

вого клинохлора и серпентина линзовидной или клиновидной формы, идущие от поверхности или присутствующие только внутри внешней зоны. Мощность прожилков колеблется от 0,1 до 0,3 мм.

Силикатная матрица нодулярных хромититов представлена в разной степени серпентинизированным оливином с включениями длиннопризматических зерен амфибола, размеры которых зависят от зернистости породы, а в нодулярной полосе образца Е-176/9 достигают размеров $2,5 \times 15$ мм. Вокруг нодулей и внутри них на границе с ядром отмечается кайма хромого клинохлора. С поверхности она представлена локально в тенях давления, на границе с ядром развита более широко, но имеет ориентировку, аналогичную поверхностной.

По химическому составу хромититы рудных тел № 3 и № 11 резко контрастны (см. приложение 6): метаморфизованные глиноземистые с широкими вариациями состава первые и высокохромистые с устойчивыми зависимостями основных компонентов – вторые. На гистограмме распределения в хромовых рудах Cr_2O_3 проявлены три моды (рис. 72), отражающие все три типа руд рудопроявления Енгайское-3: убоговкрапленные в дунитах (0–5%), густовкрапленные глиноземистые из рудного тела № 3 (25–30%) и высокохромистые (35–40 мас. %). Точки составов убоговкрапленных хромититов из рудного тела № 3 метаморфизованы до высокохромистых составов и попадают на кривую зависимости, характерную для хромититов из рудного тела № 11 (рис. 73).

Рудопроявление Енгайское-4. Рудопроявление расположено на левом берегу р. Енга-Ю, в северной части Енгайской площади. Руды локализованы в небольшом дунитовом теле среди пород дунит-гарцбургитового комплекса с невысоким содержанием дунитовой составляющей (10–20%) (рис. 74).

Хромититы из рудного тела № 808 представлены в основном средне- и убоговкрапленными разновидностями, часто деформированными до брекчий (рис. 75). Полосчатость и пятнистость хромитита проявляется как в размере рудокластов, так и в их расположении. Мощность полос и величина шпиров достаточно разнообразны. Размер отдельных рудокластов колеблется от 0,1 до 15 мм (рис. 76), при преобладающем размере 2–5 мм. Форма обломков зависит

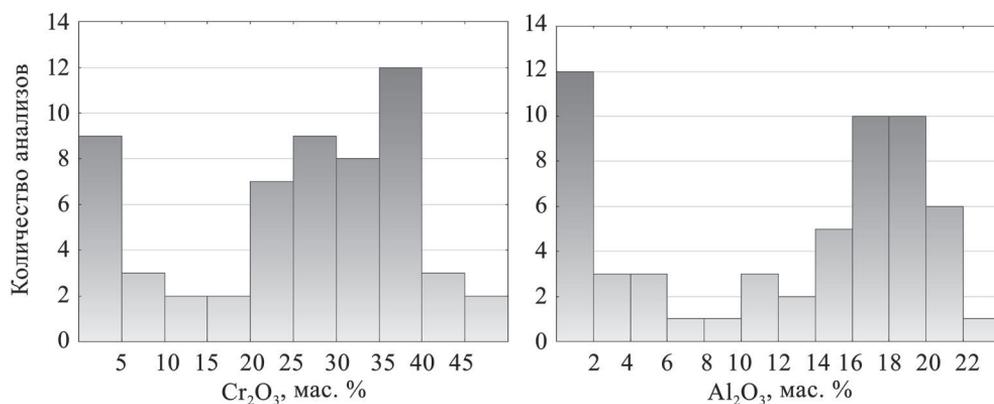


Рис. 72. Распределение Cr_2O_3 и Al_2O_3 в хромититах рудопроявления Енгайское-3

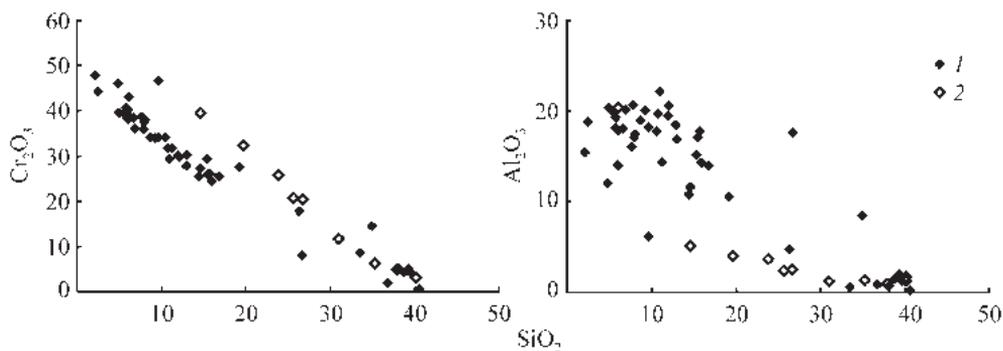


Рис. 73. Вариации содержаний оксидов хрома и алюминия в хромититах рудопроявления Енгайское-3.

1 – хромититы из рудного тела № 3, 2 – хромититы из рудного тела № 11

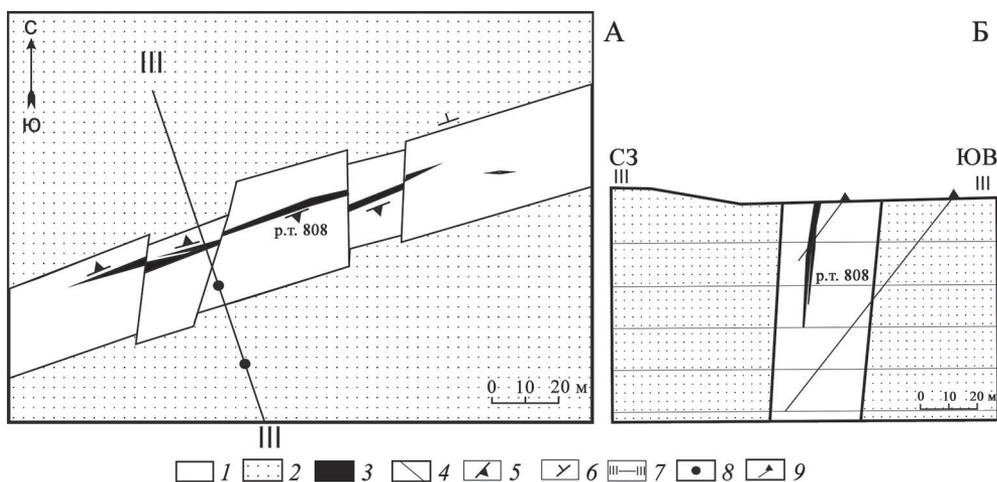


Рис. 74. Геологический план и разрез рудопроявления Енгайское-4 (Селиванов, Вахрушева, 2010).

1 – дуниты, 2 – породы метаморфизованного дунит-гарцбургитового комплекса, с содержанием дунитовой составляющей 10–30%, 3 – рудные тела, 4 – тектонические нарушения, 5 – элементы залегания рудных тел, 6 – элементы залегания пород, 7 – линия геологического разреза, 8 – скважины в плане, 9 – скважины в разрезе

от характера напряжений на данном участке и принимает порой довольно необычную конфигурацию: клиновидную, зубчатую, оскольчатую. В рудной массе отмечаются участки в виде струй, где зерна хромшпинели тонко раздроблены и рекристаллизованы. Направление этих струй может как совпадать, так и отличаться от преобладающей ориентировки рудокластов. В образце Е-102/1 встречен округлый участок, в котором мелкие линзовидные и пластинчатые рудокласты распределены по концентрическим окружностям. Размер участка составляет 15 мм. Внутри крупных обломков встречаются округлые включения, размером 0,2–0,5 мм, сложенные хромовым клинохлором. В рудокла-

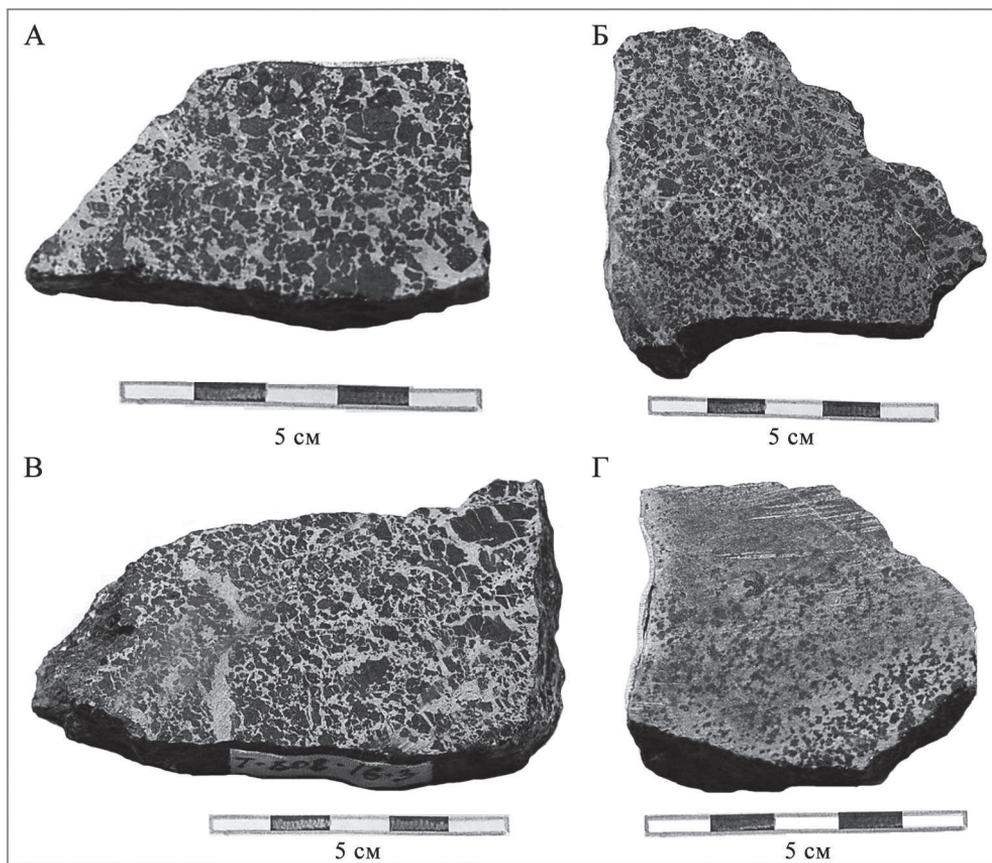


Рис. 75. Типы хромитов из рудного тела № 808; рудопроявление Енгайское-4.

А – средневкрапленный катаклазированный хромит, Б – средневкрапленный катаклазированный хромит неяснополосчатой текстуры, В – средневкрапленный катаклазированный хромит брекчиевидной текстуры, Г – убогоредковкрапленный хромит полосчатой текстуры

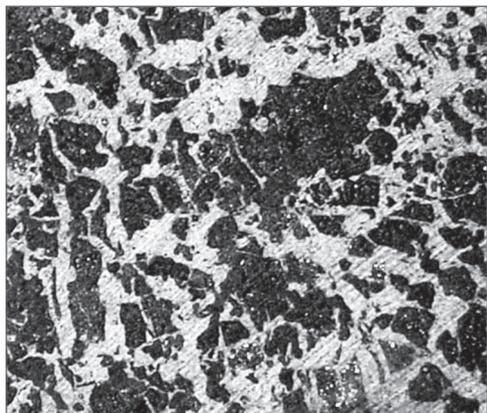


Рис. 76. Форма рудокластов в средневкрапленном хромите, рудное тело № 808, рудопроявление Енгайское-4. Увеличено в 2,5 раза

стах, особенно крупных, присутствуют прямолинейные, зубчатые, угловатые трещины, заполненные хлоритом.

Химический анализ хромитов (см. прил. 5) также отражает преобладание в рудном теле № 808 убого- и средневкрапленных разновидностей с содержанием кремнезема 30–40 мас. % и 10–20 мас. % соответственно (рис. 77).

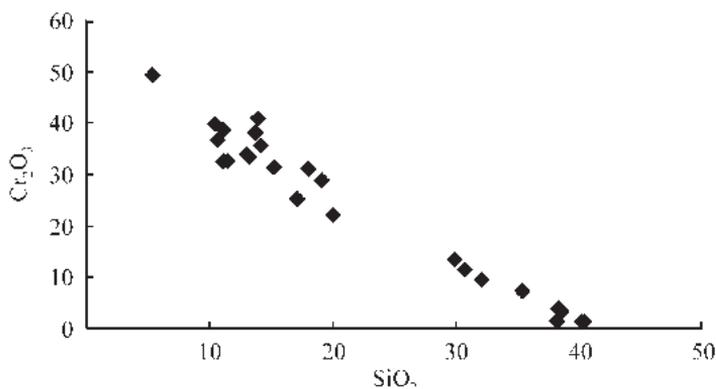


Рис. 77. Вариации содержаний оксида хрома и кремнезема в хромитах из рудного тела № 808, рудопроявление Енгайское-4

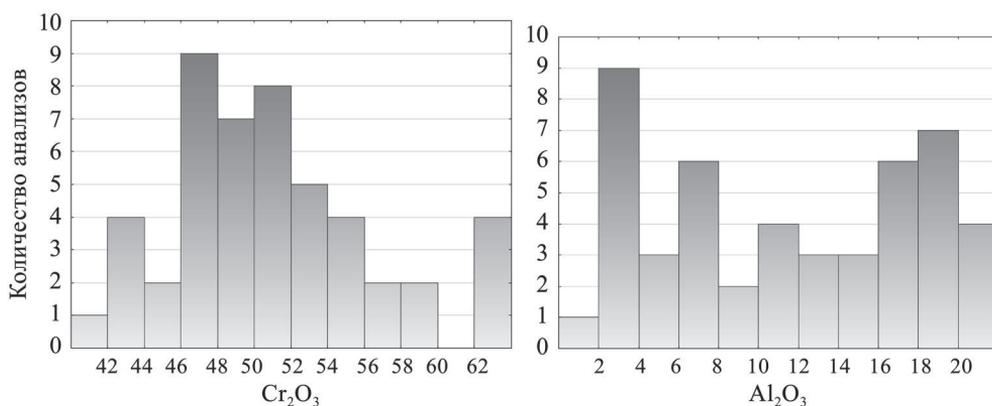


Рис. 78. Распределение оксидов хрома и алюминия в хромовых шпинелях из хромитов рудного тела № 808, рудопроявление Енгайское-4

Состав рудообразующих хромовых шпинелей из хромитов рудопроявления Енгайское-4 отражает длительную метаморфическую историю преобразования рудного вещества (рис. 78). Наиболее ранними являются глиноземистые шпинелиды с содержанием Cr_2O_3 42–44 мас. % и Al_2O_3 18–20 мас. %, сохранившиеся в центральных частях наиболее крупных рудокластов; наиболее поздними – железистые, с содержанием FeO сум. – 40–47 мас. % (см. приложение 1).

5.4. Рудопроявления Юго-Западного рудного поля

Рудопроявление Юго-Западное-1. Рудопроявление Юго-Западное-1 расположено в южной части Юго-Западного рудного поля и залегает в породах метаморфизованного дунит-гарцбургитового комплекса. Нами установлено,

что границы зон с различным содержанием дунитовой составляющей имеют северо-восточное – юго-западное простирание с азимутом около 45° . Блок пород, вмещающих оруденение, ограничен с севера и востока разрывными нарушениями, хорошо выраженными в рельефе, южная и западная его границы проходят по контакту с габбро-амфиболитами. В северо-западной части этого ультрамафитового блока развиты породы гарцбургского комплекса, с содержанием дунитов менее 10%. По мере приближения к рудным телам, дунитовая составляющая локально увеличивается до 30%. В 15-ти метрах к юго-востоку от контакта рудного тела № 1001 закартировано тело дунитов, мощностью до 40 метров, которое в плане постепенно выклинивается в северо-восточном направлении.

Рудное тело № 1001 вскрыто канавами и скважинами. В расчищенной в 2012 г. канаве К-1001 обнажаются интенсивно деформированные густовкрапленные хромовые руды, в основном в виде «сыпучки» с ядрами и блоками сравнительно массивных разностей (рис. 79). Мощность рудного тела, вскрытого горными выработками и скважинами, составила 6,5 метров. В западной части выработки вскрыт контакт с энстатит-оливиновыми породами, развитыми по гарцбургитам. Контакт осложнен разрывными нарушениями: азимут падения 138° , угол падения 80° в юго-западной стенке; и 142° , угол падения 78° – в северо-восточной стенке в нижней части и 175° , угол падения 75° – в верхней



Рис. 79. Рудное тело № 1001 густовкрапленных хромитов, вскрытое канавой К-1001; рудопроявление Юго-Западное-1

части со смещением. Таким образом, наблюдается весьма интенсивная дислоцированность рудного тела как минимум по трем системам нарушений.

В приконтактных частях рудных тел в горной выработке наиболее деформированные руды представлены тонкозернистыми густовкрапленными разностями до сплошных (рис. 80), с прожилками-просечками, выполненными оливином и/или хлоритом.

Хромититы рудопроявления Юго-Западное-I по химическому составу относятся к высокохромистому типу, представлены густовкрапленными, средне-вкрапленными и редковкрапленными разностями. Средне-густовкрапленные хромититы преобладают в строении рудного тела № 1001. В северо-западном (висячем) борту рудного тела развиты тонкозернистые деформированные густовкрапленные руды с размером зерна рудообразующей хромовой шпинели 0,05–0,2 мм и менее. Для рудных тел № 1003 и 2022 (рис. 81) типичны средне- и редковкрапленные хромититы. Текстуры руд – массивная, полосчатая, брекчиевидно-такситовая.

На гистограмме распределения в хромовой руде оксида хрома модальное значение соответствует 42,5 мас. % Cr_2O_3 . Отношение $\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{FeO}_{\text{сум}}$ варьирует от 1,28 при содержании Cr_2O_3 равном 10,5 мас. % до 3,9 при Cr_2O_3 равном 47,0 мас. %; прямо пропорционально содержанию оксида хрома в хромитите.



Рис. 80. Типы хромититов из рудопроявления Юго-Западное-I.

Вверху – тонкозернистые хромовые руды из северо-западного эндоконтакта рудного тела № 1001; внизу – средне-густовкрапленные хромовые руды

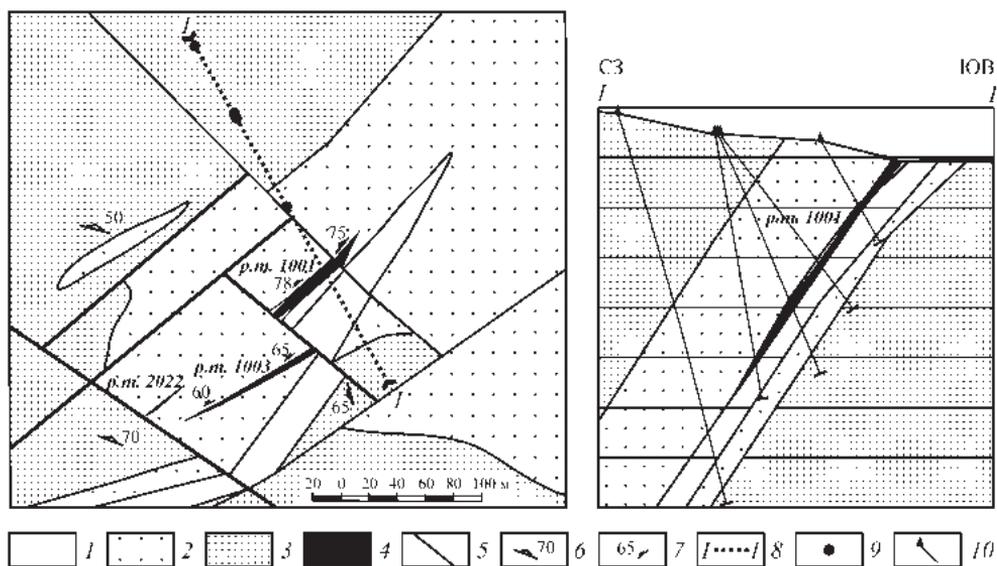


Рис. 81. Геологический план и разрез рудопоявления Юго-Западное-I (Вахрушева, Ширяев, 2015).

1 – дуниты; 2 – породы метаморфизованного дунит-гарцбургитового комплекса, с содержанием дунитовой составляющей 10–30%; 3 – породы метаморфизованного дунит-гарцбургитового комплекса, с содержанием дунитовой составляющей менее 10%; 4 – рудные тела; 5 – тектонические нарушения; 6 – элементы залегания пород; 7 – элементы залегания рудных тел; 8 – линия геологического разреза; 9 – скважины в плане; 10 – скважины в разрезе

В минеральном составе хромовых руд преобладает хромовая шпинель, состав которой отображен на вариационных диаграммах (рис. 82). По составу рудообразующая хромовая шпинель соответствует магнезиохромиту с содержанием оксида хрома 55–60%, глинозема – 8–13%, оксида железа (суммарного) – 16–20%; оксида магния – 9–14%. Состав шпинелида из рудного тела № 1001 более хромистый и чуть более железистый, чем для шпинели из рудного тела № 1003 (см. рис. 82).

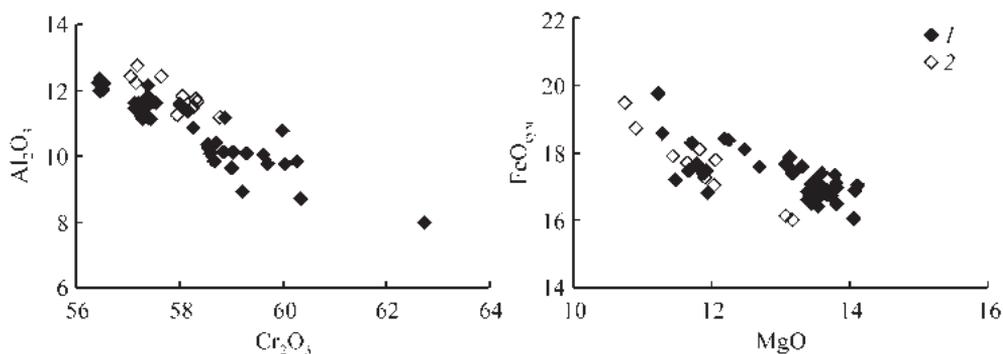


Рис. 82. Вариации содержаний основных компонентов (мас. %) в рудообразующих хромовых шпинелях рудопоявления Юго-Западное-I.

1 – рудное тело № 1001, 2 – рудное тело № 1003

Величина хромистости ($\text{Cr}/(\text{Cr} + \text{Al})$) шпинелидов из рудного тела № 1001 составляет 0,75–0,84; из рудного тела № 1003 – 0,75–0,78.

Основные микропримеси в хромовой шпинелии из хромититов рудопрооявления Юго-Западное-I – титан, ванадий, никель, кобальт, марганец, цинк (см. приложение 1). Сумма оксидов этих элементов не превышает суммарно 1,0 мас. % .

Несмотря на интенсивную деформацию хромовых руд, развития каких-либо вторичных фаз (магнетита/хроммагнетита) вокруг зерен хромовой шпинели не наблюдается, что свидетельствует о синтетектонической рекристаллизации рудообразующего минерала.

Силикатная часть хромовых руд представлена в основном хлоритом, серпентином и оливином. В оливине установлено аномально высокое содержание никеля и хрома (до 1,0 мас. % и более). Особенно это характерно для тонкозернистых деформированных руд рудного тела № 1001. Хлорит по составу соответствует хромовому клинохлору, с содержанием Cr_2O_3 3,58–4,17 мас. %.

Рудопрооявление Юго-Западное-II. Рудопрооявление Юго-Западное-II расположено в юго-западной части площади, на расстоянии около 200 метров от западного контакта массива ультрамафитов, к северо-северо-западу от рудопрооявления Юго-Западное-I и западу – от рудопрооявления Юго-Западное-III Южного дунитового тела.

В строении рудопрооявления преобладают дуниты и породы дунит-гарцбургитового комплекса с содержанием дунитовой составляющей от 10–30 до 50–70% . Собственно дуниты залегают в виде тела северо-восточного простирания мощностью около 150 м, прослеженного по простиранию на 600 м, интенсивно дислоцированного. Тело дунитов разбито серией тектонических нарушений на отдельные блоки со смещением. Дуниты среднезернистые, местами рассланцованы (преобладающее направление расланцевания – юго-восточное, по азимуту 140°–155°, падение пологое, под углом 20°–35°, падение на юго-запад). Среди дунитов встречаются линзовидные обособления гарцбургитов, преобразованных в энстатит-оливиновые и амфибол-энстатит-оливиновые породы.

К северо-западу дуниты сменяются породами дунит-гарцбургитового комплекса, с содержанием дунитов 30–50%, а затем 10–30%. Дуниты дунит-гарцбургитового комплекса развиты в виде обособлений линзовидной или неправильной формы близкой к изометричной, до 4–5 м, реже до 10–20 метров в поперечнике. В дунитах часто встречаются шпиры и прожилки убогоредковкрапленных хромовых руд, мощностью до 2 см, протяженностью до 25–30 см. Степень серпентинизации дунитов и гарцбургитов с глубиной убывает с 30–40% в верхних горизонтах до 20% в нижних.

В породах дунит-гарцбургитового комплекса фиксируются складки, возникшие в результате деформаций ультрамафитов на субкоровом уровне (Строение..., 1990).

Магнитное поле над рудопрооявлением неоднородно (Вахрушева, Давыдов и др., 2012). В юго-западной части участка выделена положительная аномалия, здесь же в канаве К-1004 проявлены зоны тектонизированных серпентинитов и интенсивно брекчированных энстатит-оливиновых пород, с которыми можно связать ее появление. Над рудными телами № 1008/2 и 1026 зафиксированы отрицательные магнитные аномалии с интенсивностями 500 и 400 нТл. Об-

ласти проявления этих отрицательных магнитных аномалий на участке соответствуют зоне развития густовкрапленных хромовых руд в первом случае и «раздува» рудного тела вкрапленно-полосчатых хромовых руд (до 14 метров) во втором.

Хромититы рудопроявления Юго-Западное-II представлены, в основном редко-средне-вкрапленными разновидностями (рис. 83) с прослоями и шширами густовкрапленных; текстуры массивные, полосчатые, шшировые.

Рудное тело № 1009 – самое крупное в пределах рудопроявления (рис. 84). Мощность рудного пересечения, вскрытого горной выработкой, составляет 18 метров. На глубину рудное тело прослежено скважинами (см. рис. 84). Тело разбито тектоническим нарушением северо-западного простирания на два блока: юго-западный, и северо-восточный. Первый сложен вкрапленно-полосчатыми, от густовкрапленных в шширах и прослоях, до редко- и убого-вкрапленных разновидностями. Среднее содержание Cr_2O_3 в рудах юго-западного блока 21,2–22,0 мас. %. Руды северо-восточного блока убоговкрапленные, вкрапленно-полосчатые, со средним содержанием Cr_2O_3 7,9–12,8 мас. %. По контактам хромититов с вмещающими дунитами, вскрытыми в горных выра-

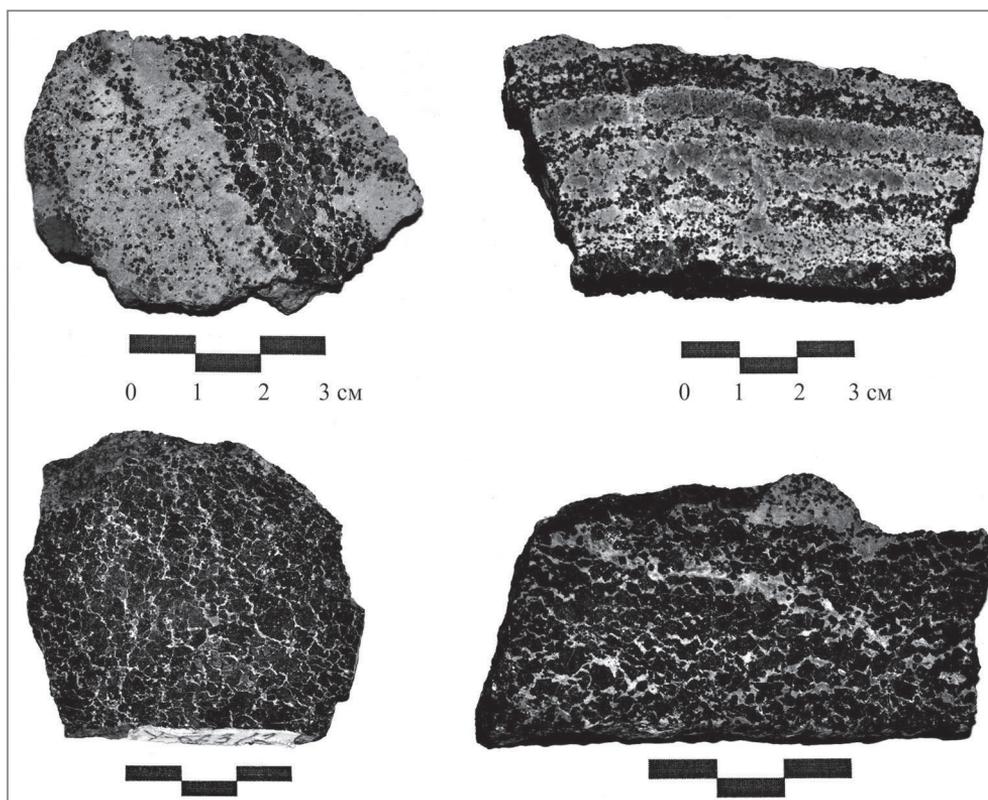


Рис. 83. Типы хромититов из рудопроявления Юго-Западное-II.

Вверху – вкрапленно-полосчатые хромовые руды, внизу – средне-густовкрапленные хромовые руды

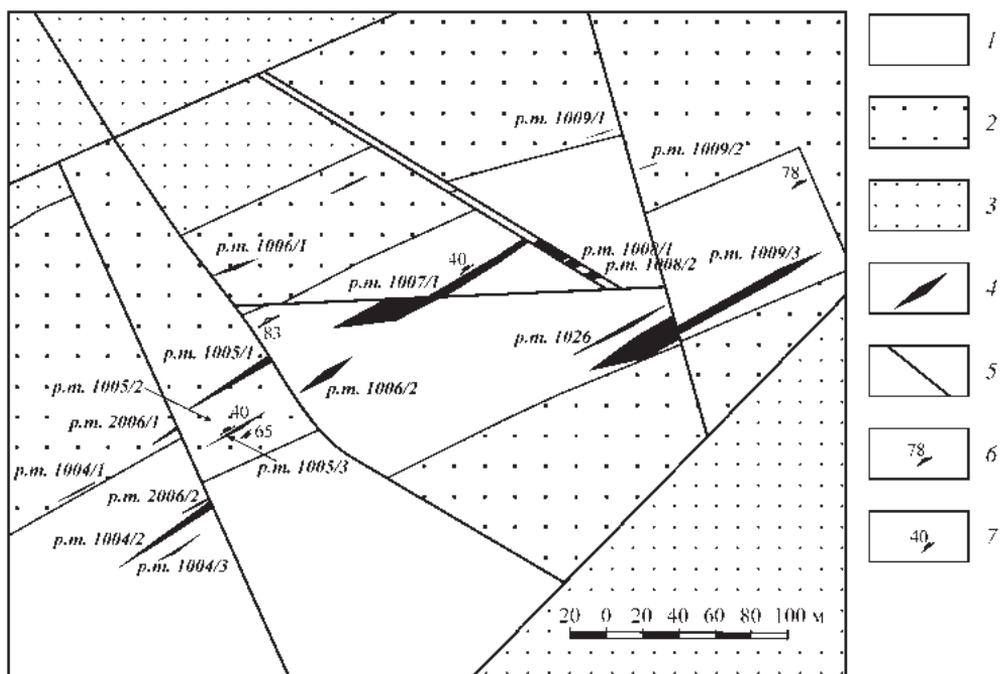


Рис. 84. Геологический план рудопроявления Юго-Западное-II (Вахрушева, Ширяев, 2015).

1 – дуниты; 2 – породы метаморфизованного дунит-габбрового комплекса, с содержанием дунитовой составляющей более 30%; 3 – породы метаморфизованного дунит-габбрового комплекса, с содержанием дунитовой составляющей 10–30%; 4 – рудные тела; 5 – тектонические нарушения; 6 – элементы залегания пород; 7 – элементы залегания рудных тел

ботках, азимут простирания рудного тела 60° – 65° , падение на северо-запад под углами 48° – 55° . Руды, также как и вмещающие их дуниты, интенсивно деформированы. Рудное тело прослежено на глубину до 90 м.

Рудное тело № 1026 расположено в пяти метрах к северо-западу от рудного тела № 1009/3 и пересечено скважиной на глубине 64 м. Рудный интервал имеет мощность 1,7 метра, представлен вкрапленно-полосчатыми мелкозернистыми редковкрапленными рудами со средним содержанием Cr_2O_3 14,0 мас. %. По контактам руды с дунитом в канаве азимут простирания рудного тела 67° , падение на северо-запад под углом 50° – 55° . Морфология рудного тела предположительно – уплощенно-линзовидная. С востока рудное тело «срезается» тектоническим нарушением северо-северо-западного простирания.

Рудное тело № 1007/1 имеет, в результате интенсивных тектонических нарушений, линзовидно-блоковое строение со сложной морфологией. Руды шпирово-полосчатые, от густо- до убоговкрапленных, мелкозернистые, со средним содержанием Cr_2O_3 20,9 мас. % при мощности рудного пересечения 6,5 м. В горной выработке, при вскрытой мощности рудного тела 11,3 метров, наблюдается чередование редковкрапленных хромовых руд со шпирами и прослоями средне-густовкрапленных и убоговкрапленных, которые слагают центральную часть рудного тела № 1007/1: северо-западная часть, мощностью 3,5 м и средним содержанием Cr_2O_3 20,0 мас. % сменяется интервалом

убоговкрапленных руд, мощностью 3,8 м и средним содержанием Cr_2O_3 13%; далее к юго-востоку – 4 метра редковкрапленных мелкозернистых руд со средним содержанием Cr_2O_3 23,2 мас. %. Простираание контактов руды с дунитом – северо-восточное, падение на северо-запад под углом 42° – 57° . Длина рудного тела по простираению – 110 метров, прослежено буровыми скважинами по падению более чем на 150 метров.

Рудные тела № 1008/1 и 1008/2 являются тектоническими блоками неясной морфологии. Вскрыты в горной выработке; фрагменты их прослежены буровыми скважинами. Образуют единую дислоцированную рудную зону с рудными телами № 1009/3, 1026 и № 1007/1 (см. рис. 84).

Хромититы из рудного тела № 1008/1 – преимущественно убого-редковкрапленные, мелкозернистые, со средним содержанием Cr_2O_3 10,7% при мощности вскрытого рудного интервала 5,7 метров. Для рудного тела № 1008/2 характерны шлирово-полосчатые редковкрапленные руды со шлирами средне- и густовкрапленных и средним содержанием Cr_2O_3 27,9 мас. % при вскрытой мощности 5,4 метра. Элементы залегания контактов руды и дунита для обоих рудных тел близки – простираание северо-восточное, азимут простираания 50° – 60° , падение на северо-запад под углом 45° – 55° .

Остальные рудные тела, показанные на геологическом плане (см. рис. 84) имеют мощность менее 3–5 метров или среднее содержание в хромититах Cr_2O_3 менее 10,0 мас. %.

Хромититы рудопроявления Юго-Западное-II по химическому составу относятся к среднехромистому типу, представлены средневкрапленными, редковкрапленными и убоговкрапленными разностями с обособлениями и шлирами густовкрапленных. Среди текстур преобладают шлирово-полосчатая, брекчиевидно-такситовая и, редко, массивная. Руды в разной степени деформированы.

Хромовые руды в пределах рудопроявления в основном довольно бедные – на гистограмме распределения в хромититах оксида хрома модальное значение соответствует 15,0 мас. % Cr_2O_3 . Отношение $\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{FeO}'$ варьирует от 1,02 при содержании Cr_2O_3 равном 9,9 мас. % до 3,48 при Cr_2O_3 равном 48,34 мас. %; прямо пропорционально содержанию оксида хрома в руде.

В минеральном составе хромовых руд рудопроявления Юго-Западное-II преобладают рудообразующая хромовая шпинель, состав которой показан на вариационных диаграммах (рис. 85), оливин, хромовый хлорит, серпентин и гидроокислы железа – гетит и/или гидрогетит (см. фото шлифов).

По составу рудообразующая хромовая шпинель соответствует магнезиохромиту с содержанием оксида хрома от 52,5 до 60,2 мас. %, глинозема – 7,7–16,0 мас. %, оксида железа (суммарного) – 13,7–28,1 мас. %; оксида магния – 7,0–16,5 мас. %. Основные микропримеси в хромовой шпинели – титан, ванадий, никель, кобальт, марганец, цинк (см. приложение 1). Сумма оксидов этих элементов не превышает 1,0 мас. %. Содержание цинка и ванадия заметно выше, чем в шпинелидах рудопроявления Юго-Западное-I.

Развития каких-либо вторичных фаз (магнетита/хроммагнетита) вокруг зерен хромовой шпинели при исследовании в аншлифах в отраженном свете, а также при микронзондовом исследовании минерала из средне- и густовкрапленных хромититов, не наблюдается. В убого- и редковкрапленных хромовых рудах метаморфизм хромовых шпинелей приводит к увеличению железисто-

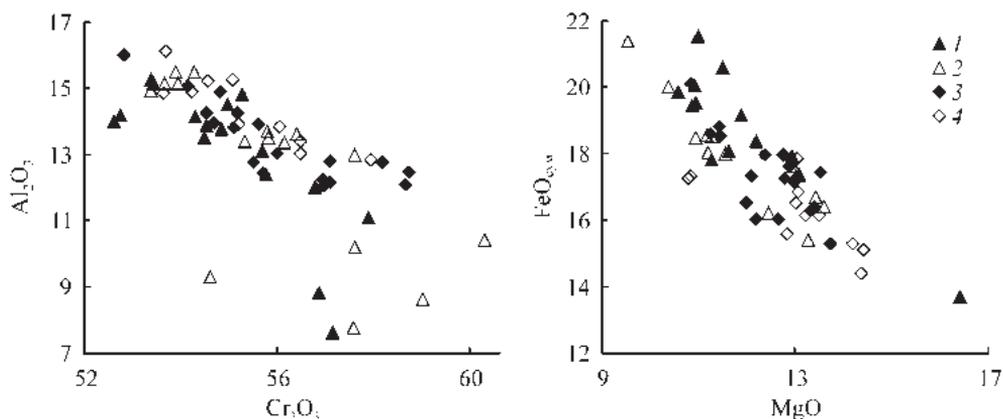


Рис. 85. Вариации состава рудообразующей хромовой шпинели из хромитов рудопроявления Юго-Западное-II.

1 – убоговкрапленные, 2 – редковкрапленные, 3 – средневкрапленные, 4 – густовкрапленные хромовые руды

сти и заметному отклонению состава минерала от первичных зависимостей (см. рис. 85).

Силикатная часть хромовых руд представлена в основном хлоритом, серпентином и оливином. Хлорит по составу соответствует хромовому клинохлору, с содержанием Cr_2O_3 3,7–4,34 мас. %.

Особенностью хромовых руд рудопроявления Юго-Западное-II является обилие гидроокислов железа – гетита/гидрогетита, развитых среди силикатов цемента – серпентина и хлорита.

Рудопроявление Юго-Западное-III. Рудопроявление Юго-Западное-III расположено в юго-восточной части Юго-Западного рудного поля, на правом берегу р. Макара-Рузь. Оруденение локализовано в южной части крупного Южного дунитового тела. Дуниты рудовмещающего комплекса среднезернистые, часто рассланцованные и смятые в складки. В дунитах встречаются шпировые обособления амфибола, единичные мелкие (до 2 мм по удлинению) зерна пироксена. Околорудные дуниты отличаются, как правило, крупнозернистой и/или пегматоидной структурой.

Магнитное поле над рудопроявлением неоднородно, магнитность пород повышается с востока на запад. Отрицательная магнитная аномалия наблюдается вдоль северо-восточного контакта рудного тела № 1025. К северо-востоку отрицательная аномалия сменяется положительной, линейной, протягивающейся полосой мощностью около 20 метров вдоль северо-восточного контакта рудного тела № 1025. Над рудными телами № 1023/1 и 1023/2 магнитная аномалия отрицательная. Рудные тела, сложенные убоговкрапленными рудами (развитые в южной части рудопроявления) в магнитном поле не выделяются.

Рудное тело № 1023/1 мощностью 14 метров вскрыто горной выработкой, характеризуется зональным строением – к центру наблюдается увеличение густоты вкрапленности хромовой руды. Западная часть рудного тела (длина интервала 3 метра) сложена шпирово-полосчатыми убого-редковкрапленными

рудами со средним содержанием Cr_2O_3 16,4 мас. %. В центральной части (длина интервала по канаве составила 6 метров) количество шлиров и прослоев средне-густовкрапленных руд увеличивается – среднее содержание Cr_2O_3 составляет 33,5 мас. %. Восточная часть рудного тела № 1023/1 (длина интервала 5 метров), также как и западная, сложена шлирово-полосчатыми убого-редковкрапленными рудами со средним содержанием Cr_2O_3 18,6 мас. % (Вахрушева, Ширяев, 2015).

Простираение рудного тела субмеридиональное, падение на восток под углом 60° – 80° . Форма тела пластообразная.

Рудное тело № 1023/2 является восточным продолжением единой рудной зоны с рудным телом № 1023/1. Их разделяет 2,5 метра дунита с повышенной вкрапленностью хромовой шпинели. Мощность рудного тела 6,6 метров при среднем содержании Cr_2O_3 18,3%.

Руды убого-редковкрапленные со шлирами и прослоями средне- и густовкрапленных (рис. 86), количество которых в центральной части рудного тела заметно выше, чем в краевых. Простираение рудного тела северо-северо-западное (азимут простираения 340°), падение на северо-восток под углами

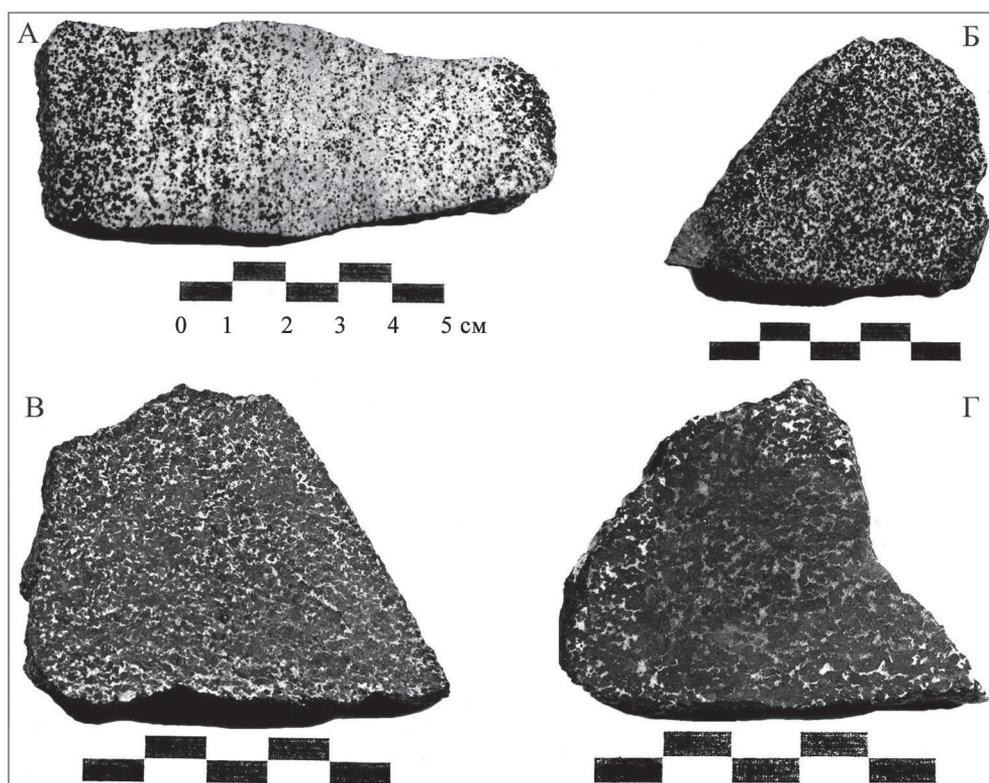


Рис. 86. Типы хромититов из рудопроявления Юго-Западное-III.

А – вкраплено-полосчатые убоговкрапленные; Б – редко-средневкрапленные; В, Г – средне-густовкрапленные хромовые руды

55°–75°. Длина рудного тела по простиранию – 140 метров, по падению прослежено на 160 м.

Рудное тело № 2017 представлено наиболее богатыми для рудопроявления Юго-Западное-III, хромититами. Простирание рудного тела северо-северо-западное (азимут простирания 335°), падение на северо-восток под углом 55°–70°. Длина рудного тела по простиранию – 60 метров, по падению прослежено на 110 метров. Максимальная мощность рудного тела 5,5 метра при среднем содержании Cr_2O_3 28,7 мас. %. Для рудного тела характерна зональность, аналогичная проявленной в рудных телах № 1023 и 1025 – краевые части тела сложены редковкрапленными, а центральная – средне-густовкрапленными рудами со средним содержанием Cr_2O_3 43,2 мас. %.

Рудное тело № 5080 линзовидной формы, падение на северо-восток под углом 55°–65°. Максимальная мощность составила 9,3 метра со средним содержанием Cr_2O_3 33,8 мас. %. В строении рудного тела преобладают средне-вкрапленные хромититы с прослоями интратрудных дунитов с повышенной вкрапленностью хромовой шпинели, мощностью 0,1–0,5 метров.

По структурно-текстурным особенностям и относительно высокому содержанию оксида хрома хромититы рудного тела № 5080 аналогичны рудам рудного тела № 2017. Возможно, рудное тело № 5080 является северным продолжением рудного тела № 2017.

В южной части рудопроявления Юго-Западное-III локализована серия маломощных рудных тел, представляющих собой единую рудную зону убоговкрапленного шлирово-полосчатого оруденения. Рудные тела по мощности редко превышают 1,0–1,5 метров, а содержание Cr_2O_3 – 10 мас. %.

Хромититы рудопроявления Юго-Западное-III по химическому составу относятся к среднехромистому типу, представлены средневкрапленными и редковкрапленными разностями с обособлениями и шлирами густовкрапленных. Среди текстур преобладают шлирово-полосчатая, брекчиевидно-такситовая и, редко массивная. Руды в разной степени деформированы. На гистограмме распределения в хромититах оксида хрома отмечается бимодальность: одно модальное значение соответствует средневкрапленным рудам – 32,5 мас. % Cr_2O_3 , второе – убоговкрапленным и равно 12,5 мас. %.

Отношение $\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{FeO}'$ варьирует от 1,0 при содержании Cr_2O_3 равном 10,0 мас. % до 3,46 при Cr_2O_3 равном 47,3 мас. %; прямо пропорционально содержанию оксида хрома в руде.

По химическому составу рудообразующая хромовая шпинель соответствует магнезиохромиту с содержанием оксида хрома от 55,5 до 59,7 мас. %, глинозема – 10,0–13,3 мас. %, оксида железа (суммарного) – 16,1–20,8 мас. %; оксида магния – 10,2–13,5 мас. %.

Рудопроявление Юго-Западное-IV. Западная часть рудопроявления расположена на крутом склоне, восточная и северная – в долинах р. Макара-Рузь и ручья Визувшор.

Основная часть рудных тел рудопроявления локализована в Южном дунитовом теле. Северо-западная часть рудопроявления сложена породами полосчатого дунит-гарцбургитового комплекса с содержанием дунитовой составляющей 30–50%.

Вблизи северо-западного контакта дунитового тела и пород дунит-гарцбургитового комплекса проходит зона Юго-Западного разрыва, выраженная

в магнитном поле интенсивной положительной аномалией. Ультрамафиты в пределах зоны разрыва рекристаллизованы с образованием повышенной вкрапленности в породах магнетита/хроммагнетита. Другие зоны тектонических нарушений представлены развитием в породах локальных зон дробления и трещиноватости.

Степень серпентинизации как дунитов, так и пород дунит-гарцбургитового комплекса невысока и редко превышает 30–40%.

Рудное тело № 237 – наиболее крупное в пределах рудопроявления Юго-Западное-IV, локализовано в породах метаморфизованного дунит-гарцбургитового комплекса в северо-восточном экзоконтакте Южного дунитового тела. С запада с хромититами контактируют среднезернистые дуниты; контакт тектонический; азимут падения западного контакта 87° , угол падения 70° . Мощность рудного тела – 6 метров в южной, вскрытой траншеей, части; в северной части – 7 метров густовкрапленных до сплошных и 3,4 м – средне-вкрапленных хромовых руд. С востока контакт рудного тела с дунитами также тектонический – азимут падения 105° , угол падения 58° . Простираание рудного тела северо-северо-западное. По простираанию тело прослежено на 100 метров.

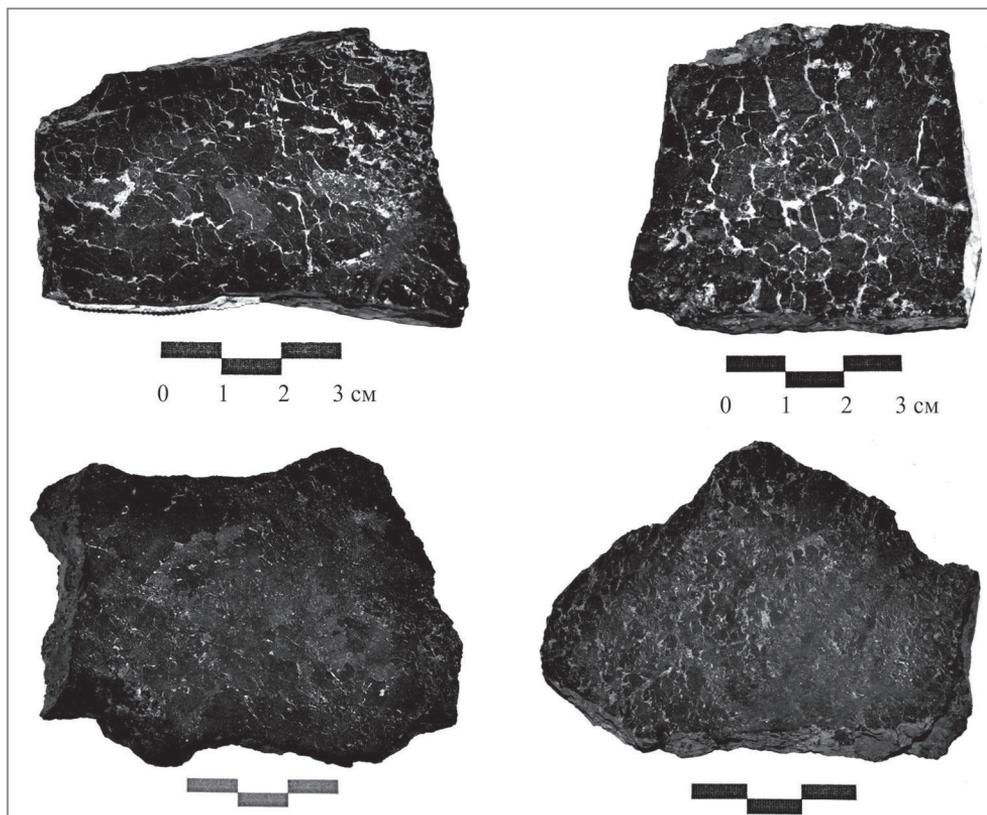


Рис. 87. Типы хромитов из рудного тела № 237; рудопроявление Юго-Западное-IV.

Вверху – густовкрапленные, внизу – сплошные хромовые руды

Западная часть рудного тела представлена богатыми крупнозернистыми густовкрапленными рудами (рис. 87) с «желваками» сплошного гигантозернистого хромитита (рис. 88). Восточная часть сложена средневкрапленными среднезернистыми рудами. Содержание Cr_2O_3 – от 42,0 мас. % в средневкрапленных до 52,0–55,0 мас. % – в сплошных хромититах.

Рудное тело интенсивно тектонизировано – локальными тектоническими зонами субширотного направления разбито на серию блоков линзовидной формы. Непосредственно в зонах дислокаций хромититы перетерты до порошковатых разностей.

Рудное тело № 1053 расположено в северной части Южного дунитового тела (рис. 89); вскрыто горными выработками и подсечено скважинами. Залежь пластообразной формы северо-северо-восточного простирания (азимут простирания 15°) и юго-восточного падения под углом 55° – 60° . Руды редко-средневкрапленные, равномерновкрапленные (рис. 90), со средним содержанием Cr_2O_3 32,2 мас. % и максимальной мощности рудного тела 6 метров. Длина рудного тела по простиранию составила 160 метров, по падению прослежено на 40 метров.

Рудное тело № 1054 расположено в 40 метрах к востоку от рудного тела № 1053. Максимальная мощность рудного пересечения составила 3,5 метров при среднем содержании Cr_2O_3 19,2 мас. %. Хромититы, в основном, редко-



Рис. 88. «Желвак» сплошного хромита в густовкрапленной руде; южная часть р.т. 237

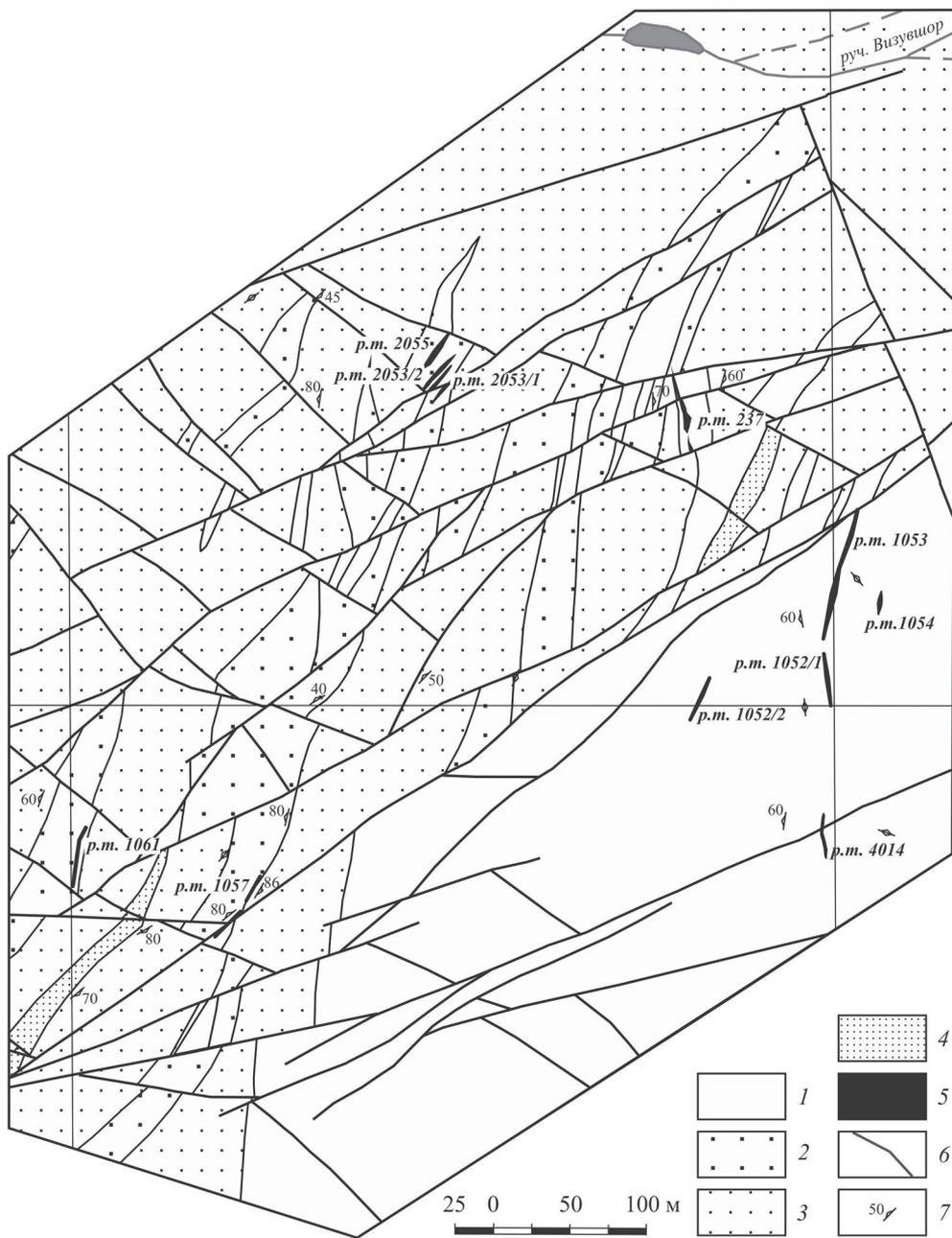


Рис. 89. Геологический план северо-западной части рудопоявления Юго-Западное IV (Вахрушева, Ширяев, 2015).

1 – дуниты; 2 – породы метаморфизованного дунит-гарцбургитового комплекса, с содержанием дунитовой составляющей более 30%; 3 – породы метаморфизованного дунит-гарцбургитового комплекса, с содержанием дунитовой составляющей 10–30%; 4 – породы метаморфизованного дунит-гарцбургитового комплекса, с содержанием дунитовой составляющей менее 10%; 5 – рудные тела; 6 – тектонические нарушения; 7 – элементы залегания пород

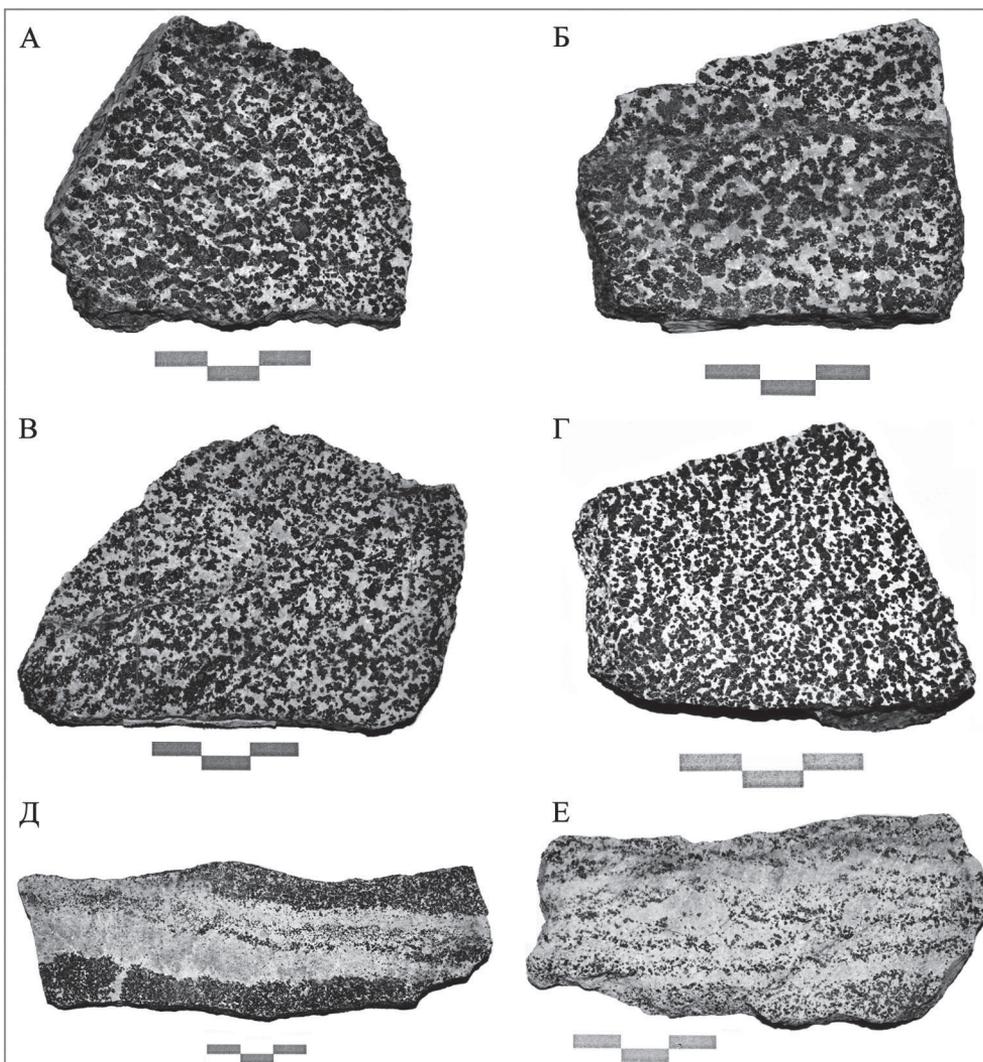


Рис. 90. Типы вкрапленных хромититов из рудных тел рудопроявления Юго-Западное-IV.

А, Б – средневкрапленные среднезернистые хромититы (А – р.т. № 2053, Б – р.т. № 1052); В, Г – средневкрапленные мелкозернистые хромититы (В – р.т. № 1053, Г – р.т. № 1039); Д, Е – вкрапленно-полосчатые хромититы из рудного тела № 1054

вкрапленные полосчатой текстуры со шлирами и прослоями густовкрапленных (см. рис. 90). Рудное тело уплощено-линзовидной формы; буровыми скважинами прослежено на глубину до 70 метров. Простираение залежи северо-северо-восточное (азимут простираения 15°), падение субвертикальное.

Рудное тело № 2053-1 вскрыто канавой, по простираению и падению не прослежено, предположительно имеет протяженность 28 метров при мощности около 1 метра. Рудное тело сложено средневкрапленными до густовкрапленных среднезернистыми хромититами. Густота вкрапленности рудообра-

зующего минерала увеличивается от восточного контакта к западному. Азимут падения рудного тела 140° , угол падения 70° – 89° . Рудное тело № 2053-2 также по простиранию и падению не прослежено, оконтурено с северо-востока горной выработкой, предположительно имеет протяженность 30 метров, мощность рудного интервала в канаве составила 1,1 метр. Рудное тело сложено массивными, плотными от средне- до густовкрапленными, среднезернистыми богатыми хромовыми рудами. Густота вкрапленности рудного минерала увеличивается в рудном теле с востока на запад. Внутри рудного тела вскрыт прожилков интравудных крупнозернистых несерпентинизированных дунитов фиштакково-зеленого цвета, мощностью 10 см, ориентированный субвертикально. Азимут падения рудного тела 110° , угол падения 85° .

В юго-западной части рудопоявления Юго-Западное-IV выделено 9 рудных тел пластообразной формы. Все они залегают среди дунитов Южного дунитового тела и представлены вкрапленными хромититами с различной густотой вкрапленности.

Рудное тело № 1047 пересечено канавой, оконтурено по простиранию, по падению не прослежено. Предположительно имеет длину по простиранию 30 метров. Простирание тела северо-северо-восточное, падение контактов на восток-юго-восток (азимут падения 256° – 268°), под углом 65° – 69° . Руды редковкрапленные, мелко-среднезернистые, рассланцованные. Мощность рудного пересечения составило 1,3 метра.

Рудное тело № 2039 по падению прослежено буровыми скважинами на глубину 120 метров. Длина рудного тела по простиранию – 72 метра. Падение на запад-северо-запад под углом 75° – 80° . Руды неравномерновкрапленные, вкрапленно-полосчатые, представленные чередованием интервалов убоговкрапленных, неравномерновкрапленных, мелкозернистых хромовых руд с интервалами средневкрапленных равномерновкрапленных, мелкозернистых. Внутри рудных тел встречаются интервалы дунитов мощностью 0,4–0,5 метров. Мощность рудных пересечений составила 0,7–6,0 метров, увеличивается с глубиной.

Рудное тело № 1039/1 по падению прослежено на глубину до 125 метров. Руды вкрапленно-полосчатые от убоговкрапленных, с прожилками средневкрапленных, до густовкрапленных, мелко-среднезернистых. Внутри рудных тел встречаются интервалы интравудных дунитов мощностью 0,5–0,9 метра. Мощность рудных пересечений 1,0–2,9 метров. Падение рудного тела северо-западное под углами 50° – 75° . По простиранию прослежено на 110 метров. В юго-юго-западном направлении на глубине 43 метра тело распадается на несколько субпараллельных тел мощностью 1,0–2,3 метров (рудные тела № 5452/1, 5452/2, 5452/3).

Рудное тело № 2047 вскрыто канавами и по падению прослежено скважинами на глубину до 85 метров. Руды преимущественно средневкрапленные, неравномерновкрапленные, мелко-среднезернистые, вкрапленно-полосчатые, с интервалами интравудных дунитов мощностью до 0,9 метров. Длина рудного тела составила 97,5 метров; падение на запад-северо-запад под углом 75° – 80° . Мощности рудных пересечений 1,2–2,5 метров.

Рудное тело Р-553 расположено в северо-восточной эндоконтактовой части Южного дунитового тела. Рудное тело Р-553 «слепое», пластообразной формы, вскрыто и пересечено буровыми скважинами. Рудное тело северо-

восточного простирания в своей северной части и субмеридионального простирания – в южной. Максимальная мощность рудного тела 5,3 метров со средним содержанием Cr_2O_3 – 30,0 мас. %. С глубиной густота вкрапленности в рудах убывает: редковкрапленные руды сменяются убоговкрапленными с содержанием Cr_2O_3 всего лишь 17,5 мас. %. Рудное тело, по-видимому, пересекается тектоническим нарушением, изменившим его элементы залегания. Протяженность рудного тела по простиранию составляет 150 метров, по падению – 130 метров.

Хромовые руды рудопроявления Юго-Западное-IV по химическому составу относятся к высокохромистому типу, представлены густовкрапленными, средневкрапленными и редковкрапленными разновидностями с обособлениями и шлирами густовкрапленных (см. рис. 87, 90). Среди текстур преобладают массивная, шлирово-полосчатая, реже встречается брекчиевиднотакситовая. Руды в разной степени деформированы.

Хромититы в пределах рудопроявления заметно варьируют по химическому составу (см. прил. 5), что отражает, в первую очередь, их густоту вкрапленности (рис. 91). На гистограмме распределения в хромовой руде оксида хрома отмечается три модальных значения: одно соответствует густовкрапленным и сплошным хромититам, в основном, из рудного тела № 237 – 52,5 мас. % Cr_2O_3 , второе – редко-средневкрапленным – 27,5 мас. % и третье – убоговкрапленным – 17,5 мас. %.

В минеральном составе хромититов преобладает рудообразующая хромовая шпинель, распределение основных компонентов в которой отображено на гистограммах (рис. 92). По химическому составу рудообразующая хромовая шпинель соответствует магнезиохромиту с содержанием оксида хрома от 43,0 до 67,4 мас. %, глинозема – 6,3–20,3 мас. %, оксида железа (суммарного) – 13,2–30,2 мас. %; оксида магния – 6,5–15,8 мас. %. В отличие от рудообразующего минерала месторождения Центральное, хромовая шпинель рудопроявления Юго-Западное-IV менее хромистая и несколько более глиноземистая (см. рис. 52, раздел 5.1).

В густовкрапленных хромититах силикат представлен, в основном, хромовым хлоритом. В бедных рудах цемент сложен оливином, а также серпентином и хлоритом. В деформированных и рекристаллизованных рудах отмеча-

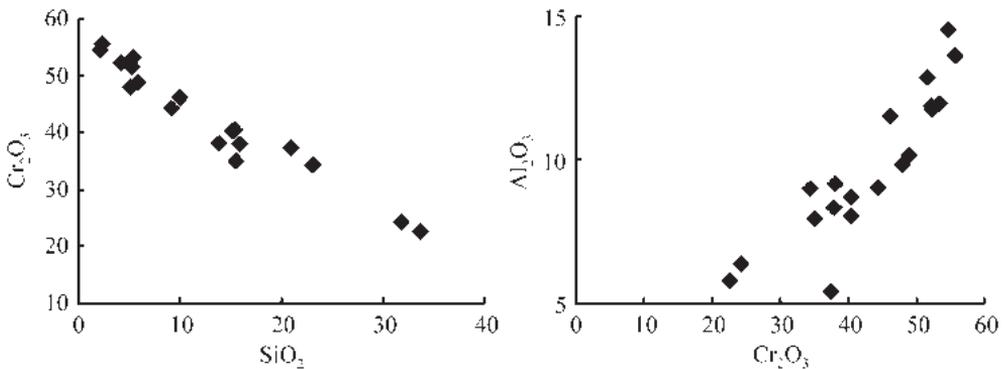


Рис. 91. Химический состав хромититов рудопроявления Юго-Западное IV

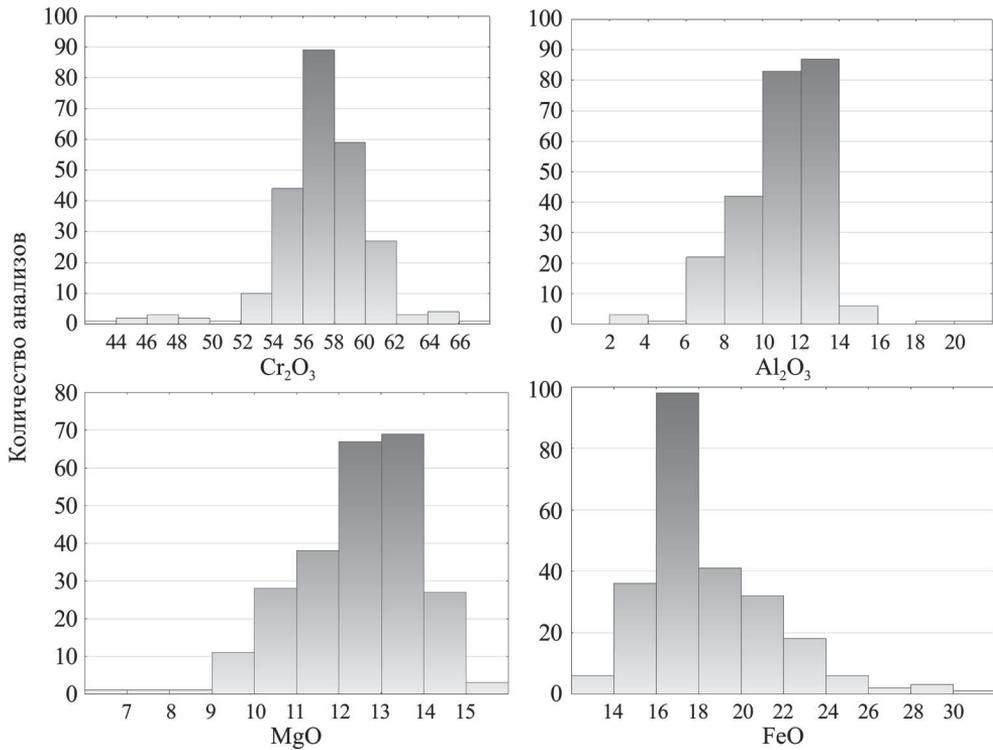
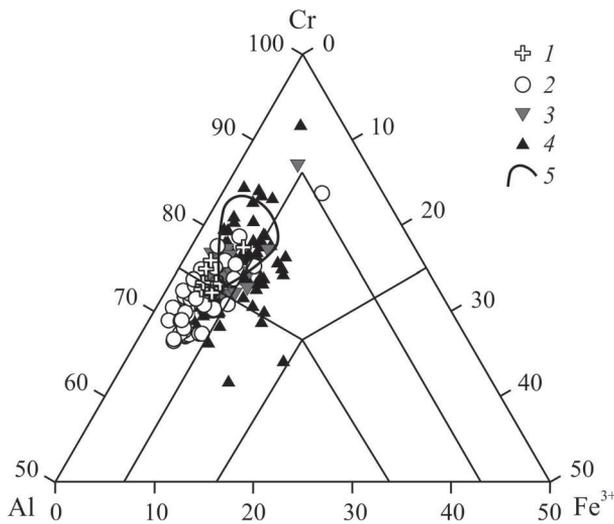


Рис. 92. Распределение основных компонентов в рудообразующих хромовых шпинелях рудопроявления Юго-Западное-IV

ется повышенная вкрапленность сульфидов, соответствующих по оптическим свойствам пирротину и/или пентландиту.



Сравнение составов хромовых шпинелей из различных рудопроявлений Юго-Западного рудного поля (рис. 93) позволяет сделать следующие выводы: наиболее глино-

Рис. 93. Соотношение трехвалентных катионов в рудообразующих шпинелидах рудопроявлений Юго-Западного рудного поля.

1 – Юго-Западное-I, 2 – Юго-Западное-II, 3 – Юго-Западное-III, 4 – Юго-Западное-IV, 5 – месторождение Центральное.
Разделение треугольника на поля составов хромовых шпинелей в соответствии с классификацией Н.В. Павлова (1949, 1968) – см. главу 3, рис. 35

земистыми являются шпинелиды, слагающие хромититы рудопроявления Юго-Западное-II, расположенное в юго-восточной части Юго-Западного рудного поля. По классификации Н.В. Павлова (1949, 1968) рудообразующий минерал соответствует алюмохромиту.

Хромовые шпинели, слагающие хромититы рудопоявлений Юго-Западные-I и III, практически полностью попадают в поле хромита. Рудообразующие шпинелиды рудопоявления Юго-Западное-IV показывают наибольший разброс значений, попадая в поля алюмохромита и хромита, а метаморфизованные – в поля субферриалюмохромита и субферрихромита (см. рис. 93; см. также главу 3, рис. 35).

ОКСИТЕРМОБАРОМЕТРИЯ ХРОМОВЫХ РУД И ОКОЛУРУДНЫХ УЛЬТРАМАФИТОВ МАССИВА РАЙ-ИЗ

Имеющиеся данные по окислительно-восстановительному состоянию хромитов полярноуральских хромитоносных массивов весьма скудны и исчерпываются результатами опубликованными в работах (Чашухин и др, 1996; Вотяков, 1998; Чашухин и др, 2007; Garuti et al., 2012). Между тем, Полярный Урал является на сегодняшний день одним из основных поставщиков сырья для ферросплавной промышленности, и привлекает внимание, как частных, так и государственных инвесторов в связи со значимыми ресурсами хромовых руд. В наших работах (Ширяев и др., 2012, 2014, 2016) выполняется целенаправленное и последовательное исследование условий образования хромовых руд Полярного Урала – фугитивности кислорода, температуры, а также давления. Изучены закономерности изменения параметров в зависимости от химического типа руд и особенностей их структуры, а также от положения в пределах массивов, рудных полей и разрезов рудных тел.

Изменчивость фугитивности кислорода и температуры оливин-шпинелевого равновесия в пределах тел хромовых руд наиболее полно изучена на Кемпирсайском массиве (Чашухин и др., 2007) и эталонных расслоенных хромитоносных массивах (Sneathlage, Klemm, 1978).

Для месторождения Геофизическое XII в работе И.С. Чашухина и др. (2007) обозначено, что внутренняя часть изученного рудного тела (рис. 94) является более восстановленной по сравнению с приконтактовыми. Обратимся к приведенной в работе диаграмме. Вопреки построенной авторами кривой, положение точек на графике указывает на то, что от кровли к подошве рудного тела фугитивность кислорода в рудах повышается (см. рис. 94, штрих-пунктирная). Одновременно в хромовой руде увеличивается содержание рудообразующей шпинели.

Для рудного тела № 3 месторождения Алмаз-Жемчужина Кемпирсайского массива (рис. 95), сложенном сплошными и густовкрапленными хромититами, авторы описывают снижение фугитивности кислорода с глубиной. Обращает на себя внимание проиллюстрированное на рис. 95 (диаграммы а и б) отсутствие пропорциональности железистости оливина и шпинели, указывающее на то, что минералы не находятся в равновесии. Интересны и аномально высокие (9–10% Fa) значения железистости оливина. В ряде работ (Melcher et. al, 1997; Jhonson, 2012), а также в классической монографии Н.В. Павлова и др. (1968), приводятся данные о более низких значениях Fa (2–3%) оливинов из хромитов Кемпирсая. В то же время степень окисления железа и железистость шпинелей, изученных в указанных выше работах, варьируют в одинаковых пределах 15–30% и 25–40% соответственно. Факт наличия в рудах Кемпирсайского массива оливинов, резко различающихся железистостью, заслу-

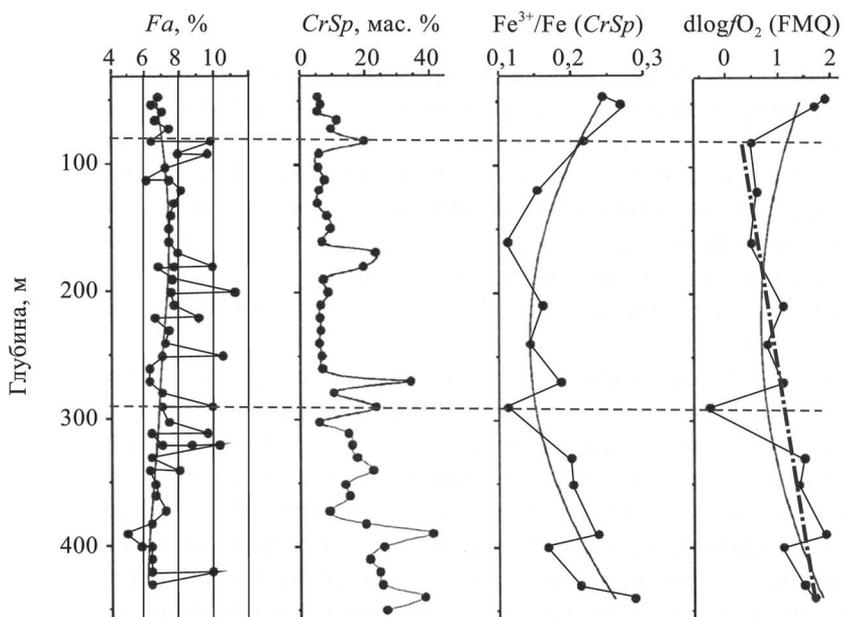


Рис. 94. Вариации химического состава сосуществующих шпинелей и оливинов в хромовых рудах, вскрытых скважиной 681 на месторождении Геофизическое XII на Кемпирсайском массиве по (Чашухин и др., 2007)

живает особого внимания и требует проведения дополнительных исследований.

В работе (Чашухин и др., 2007) отмечается, что высокие значения fO_2 (около FMQ +2), установленные в хромититах Кемпирсайского массива Ф. Мельхером и др. (Melcher et al., 1997), связаны с тем, что для определения степени окисления железа в использованных для расчета fO_2 шпинелях не применялась мессбауэровская спектроскопия. Более глубокий анализ опубликованных авторами материалов показывает, что оливины из образцов, изученных в первой и второй работе, значительно различаются по железистости. При расчете температуры оливин-шпинелевого равновесия и при сопоставимых значениях железистости шпинели, парагенезисы с более железистыми оливинами (Чашухин и др., 2007) дают большую температуру, чем с магнезиальными из работы Ф. Мельхера с соавторами. Следовательно, именно различная расчетная температура оливин-шпинелевого равновесия, обусловленная разными значениями железистости оливина, при близких значениях степени окисления железа в шпинелях, а не отклонения от стехиометрии состава шпинели, определяет описанную выше разницу в вычисленных значениях fO_2 .

К сожалению, в работе (Чашухин и др., 2007) не приводится геологическая колонка по скважине 222 (см. рис. 95). Мы проанализировали распределение содержания оксида хрома в хромититах по скважине 222, приведенные в отчете Донской ГРП (Самсонов и др., 1983). Скважиной вскрыты три интервала хромититов, несколько отличающиеся содержанием оксида хрома (густотой вкрапленности) в хромовой руде. Верхняя часть рудного тела (до глу-

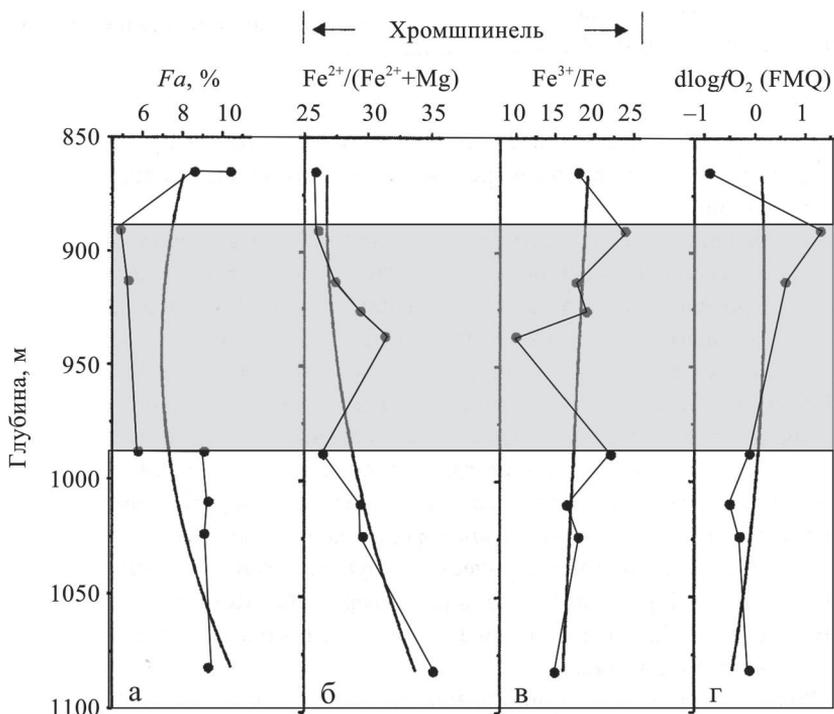


Рис. 95. Вариации химического состава сосуществующих шпинелей и оливинов в хромовых рудах, вскрытых скважиной 222 на месторождении Алмаз-Жемчужина по (Чашухин и др., 2007)

бины 890 метров) представлена средне-густовкрапленными хромититами со средним содержанием Cr_2O_3 по интервалу 49,6 мас. %. Внутри рудного тела (глубина 890–980 метров) развиты густовкрапленные и сплошные хромититы (см. рис. 95, интервал выделен серым) со средним содержанием оксида хрома 55,8 мас. %. В нижней части разреза (с глубины 980 метров и до подошвы рудного тела) скважиной вскрыты средне-густовкрапленные хромититы с прослоями редковкрапленных со средним содержанием Cr_2O_3 по интервалу 45,4 мас. %. На наш взгляд, резкая изменчивость железистости оливина отражает колебания густоты вкрапленности хромовых руд по разрезу.

Взаимосвязь густоты вкрапленности хромовой шпинели в хромовой руде Кемпирсайского массива с железистостью оливина установлена Н.В. Павловым и др. (1968), а также продемонстрирована в работе (Царицын, Алимов, 1983). Соответственно, возможна и другая интерпретация диаграммы – наиболее высокие значения fO_2 (FMQ 0...+1 лог. ед.) установлены в интервале сплошных руд, маркируемых более низкими значениями Fa.

В работе (Snethlage, Klemm, 1978) проведено измерение фугитивности кислорода хромититов Бушвельдского массива, для чего использован метод электрохимической ячейки. Установлено, что акцессорные хромовые шпинели более восстановлены по сравнению с рудообразующими; повышение фугитивности кислорода на 0,5–1,0 лог. ед. сопровождается процессом концентрации шпинелида в слои массивных хромовых руд.

Таким образом, опубликованные данные об изменении фугитивности кислорода в телах хромититов позволяют сделать вывод о том, что повышение фугитивности кислорода при рудообразовании сопровождается увеличением содержания рудообразующего минерала.

Общие закономерности изменения T и fO_2 хромититов и рудовмещающих ультрамафитов месторождения Центральное и рудопроявления Енгайское-1

Для расчетов температуры и фугитивности кислорода были использованы геотермометр и оксигарометр, разработанные К. Большаузом, Р. Берри и Д. Грином (Ballhaus et al., 1991) на основе уравнений Г.О'Нейла и В.Уолла (O'Neill, Wall, 1987). Термометр и оксигарометр применимы для исследования беспироксеновых пород. Для калибровки использовались хромовые шпинели с хромистостью 20–95%, что позволяет изучать с их помощью высокохромистые хромититы. Точность геотермометра, по данным (O'Neill, Wall, 1987) составляет $\pm 100^\circ\text{C}$, оксигарометр дает ошибку в определении фугитивности кислорода $\pm 0,4$ лог. ед. относительно буфера FMQ (Ballhaus et al., 1991).

В настоящей работе закономерности изменения температуры оливин-шпинелевого равновесия и фугитивности кислорода в пределах массива Рай-Из наиболее полно были изучены на примерах месторождения Центральное и рудопроявления Енгайское-1. Основным различием этих объектов является масштаб и тип оруденения. Хромититы рудопроявления Енгайское-1 представлены главным образом убого- и редковкрапленными, мелко-среднезернистыми разновидностями вкрапленно-полосчатой текстуры (см. раздел 5.3). Хромовые руды месторождения Центральное имеют гораздо более широкие вариации структур и текстур, но преобладающим типом являются массивные (см. раздел 5.1), средне-крупнозернистые, средне-густовкрапленные до сплошных. Как будет показано ниже, каждый из этих объектов фиксирует определенные параметры рудогенеза, приведшие к формированию в одном случае бедных вкрапленных хромовых руд рудопроявления Енгайское-1 и во втором – к высокой концентрации полезного компонента в богатых хромовых рудах месторождения Центральное.

Как видно на диаграмме (рис. 96), для хромититов рудопроявления Енгайское-1 и месторождения Центральное характерны близкие температуры оливин-шпинелевого равновесия. Хромовые руды месторождения Центральное более окислены, чем таковые рудопроявления Енгайское-1. Это хорошо иллюстрируют гистограммы распределения $d\log fO_2$ (FMQ) (рис. 97), на которых для рудопроявления Енгайское-1 выделяется две моды: 1,8...2,0 и 2,6...2,8 лог. ед. выше буфера FMQ, а для месторождения Центральное +2...+2,2 и +2,8...+3,0 лог. ед. Рудовмещающие ультрамафиты (рис. 98) сравниваемых объектов различаются по температуре оливин-шпинелевого равновесия и фугитивности кислорода. Дуниты и метаультрамафиты месторождения Центральное более окислены, чем дуниты рудопроявления Енгайское-1.

Значения фугитивности кислорода на 1–2 лог. ед. выше буфера FMQ типичны для ультрамафитов, сформировавшихся в надсубдукционных обстанов-

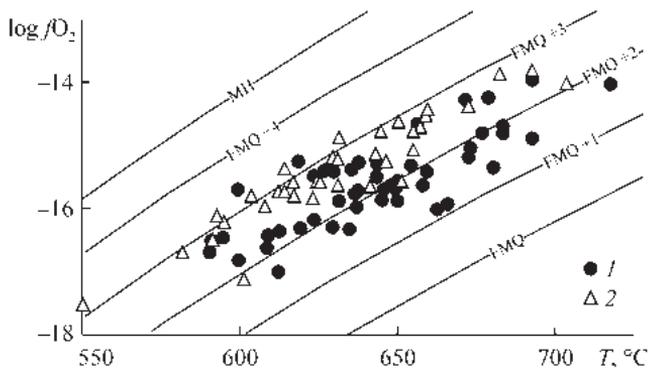


Рис. 96. Диаграмма $T\text{-log } fO_2$ для хромититов рудопроявления Енгайское-1 (1) и месторождения Центральное (2)

ках (Parkinson, Arculus, 1999; Dare et al., 2009; Ishii et al., 1992). Однако в нашем случае такие значения fO_2 установлены только в рудовмещающих ультрамафитах и в большей части хромититов рудопроявления Енгайское-1 (см. рис. 96, 98). Для хромититов месторождения Центральное характерна фугитивность O_2 в среднем FMQ $+2,5 \pm 0,5$ лог. ед., а в рудовмещающих породах она достигает $+4,5$ лог. ед. Естественно, что объяснить такие значения fO_2 только образованием или преобразованием пород в надсубдукционной обстановке не представляется возможным.

Как следует из полученных данных, наиболее контрастными по fO_2 являются рудовмещающие ультрамафиты изученных объектов (см. рис. 98). Возрастание fO_2 сопровождается изменением состава акцессорной шпинели от магнезиохромита на рудопроявлении Енгайское-1 к феррихромиту и хроммагнетиту

в рудовмещающих ультрамафитах изученных объектов (см. рис. 98). Возрастание fO_2 сопровождается изменением состава акцессорной шпинели от магнезиохромита на рудопроявлении Енгайское-1 к феррихромиту и хроммагнетиту

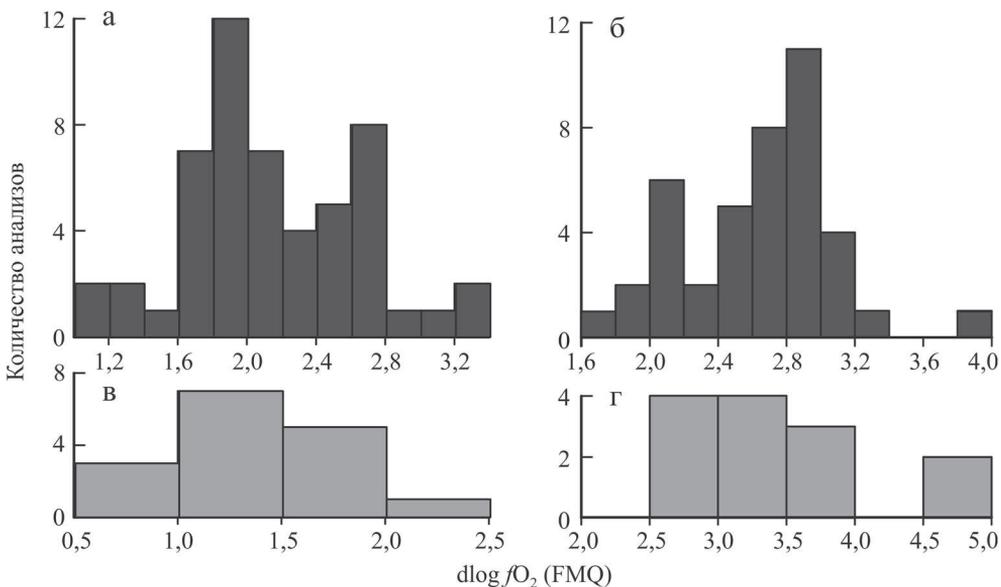


Рис. 97. Гистограммы $d\log fO_2$ (FMQ) в хромититах и ультрамафитах месторождения Центральное и рудопроявления Енгайское-1.

а, б – хромититы (а – рудопроявление Енгайское-1, б – месторождение Центральное); в, г – рудовмещающие ультрамафиты (в – рудопроявление Енгайское-1, г – месторождение Центральное)

на месторождении Центральное. Формирование метаультрамафитов и локализованных в них хромитов происходит в различных условиях: повышенной фугитивности кислорода и давления для энстатит-оливиновых пород и хромитов месторождения Центральное и относительно невысоких фугитивности кислорода и давления для рудовмещающих дунитов и хромитов рудопроявления Енгайское-1.

Бимодальность, проявленная на гистограмме fO_2 в хромовых рудах месторождения Центральное (см. рис. 97) объясняется тем, что хромиты, залегающие в породах метаморфизованного дунит-гарцбургитового комплекса (рудные тела залежи № 9, рудное тело № 31 – $d\log fO_2$ (FMQ) +1,9...+3,2 лог. ед.) несколько более окислены, по сравнению с рудами, локализованными внутри тел дунитов (рудные тела № 3, 6, 8, 10 – $d\log fO_2$ (FMQ) +2,0...+2,5 лог. ед.).

Бимодальное распределение fO_2 в хромитах рудопроявления Енгайское-1 связано с развитием двух основных типов руд – убоговкрапленных и средневкрапленных. В пересечениях, где наблюдается концентрирование рудного минерала с образованием шпиров средне-, а иногда густовкрапленных хромитов, fO_2 принимает более высокие значения (Ширяев, Вахрушева, 2009).

Хромовые руды месторождения Центральное залегают как в дунит-пегматитах юго-западной апофизы Центрального дунитового тела, так и в породах дунит-гарцбургитового комплекса. Температура оливин-шпинелевого равновесия в хромитах изученных рудных тел не зависит от их геологического положения. Фугитивность кислорода статистически выше в хромитах рудных тел № 9 и № 31, локализованных в породах дунит-гарцбургитового комплекса (+3,0 ± 0,5 лог. ед. относительно FMQ, рис. 99). В хромитах, из рудных тел в дунитах наблюдаются более низкие значения fO_2 (FMQ +2...+3).

Рудные тела рудопроявления Енгайское-1 не различаются по T - fO_2 параметрам и образуют на диаграмме T - fO_2 одно общее поле (рис. 100), ограниченное значениями fO_2 FMQ +1...+3 лог. ед.

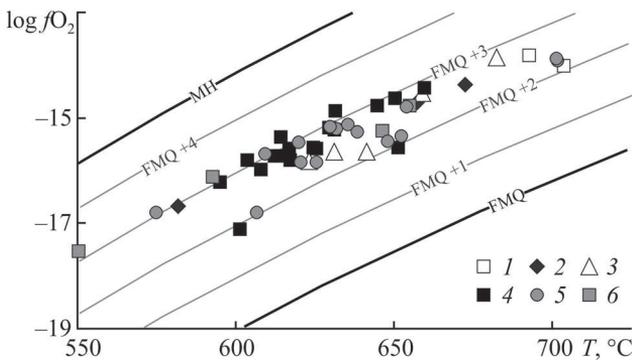


Рис. 99. Диаграмма T - $\log fO_2$ для хромовых руд месторождения Центральное.

1-3 – хромиты северной части месторождения: 1 – рудное тело № 3, 2 – рудное тело № 6, 3 – рудное тело № 8; 4-6 – хромиты южной части: 4 – рудные тела залежи № 9, 5 – рудное тело № 10, 6 – рудное тело № 31

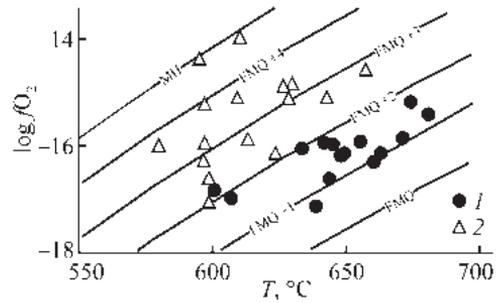


Рис. 98. Диаграмма T - $\log fO_2$ для ультрамафитов рудопроявления Енгайское-1 (1) и месторождения Центральное (2)

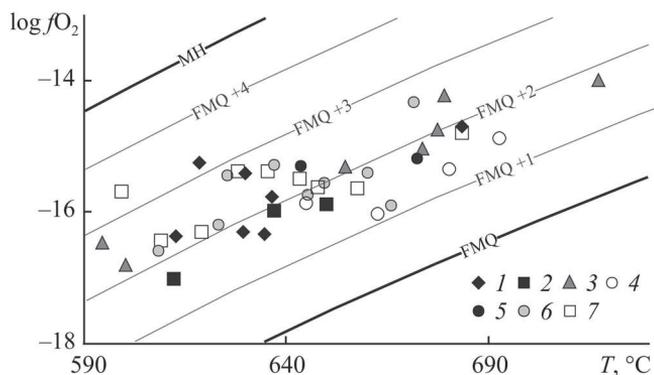


Рис. 100. Диаграмма T - $\log fO_2$ для хромовых руд р.п. Енгейское.

Рудные тела: 1 – № 712, 2 – № 725, 3 – № 726/1, 4 – № 726/2, 5 – № 742/1, 6 – № 742/2, 7 – № 742/3

Отмечается слабое повышение fO_2 (FMQ) на 1 лог. ед. с понижением температуры.

Таким образом, установленные в хромититах и рудовмещающих ультрамафитах рудопроявления Енгейское-1 и месторождения Центральное значения fO_2 и температуры оливин-шпинелевого равновесия не соотносятся с условиями, типичными для магматических процессов, в том числе преобразования

ультрамафитов в надсубдукционных условиях. В то же время, оценка условий формирования оливин-хромшпинелевого парагенезиса как в рудовмещающих ультрамафитах, так и хромититах, приводят к выводу о метаморфогенном образовании рудных концентраций.

Изменение фугитивности кислорода внутри рудных тел

Для рудных тел массива Рай-Из изучение изменчивости фугитивности кислорода (fO_2) и температуры оливин-шпинелевого парагенезиса ($T_{\text{Ол-Шп}}$) проведено впервые. Изучены пересечения через рудное тело № 10 месторождения Центральное, а также через рудные тела № 742/1 и 742/2 рудопроявления Енгейское-1 (см. главу 5, рис. 46, рис. 59).

Микрозондовые анализы минералов выполнены на микроанализаторе САМЕСА SX-100 (ГЕОХИ РАН, аналитик Н.Н. Кононкова).

Составы оливинов из хромититов рудного тела № 10 были определены в 2–6 зернах минерала. Железистость исследованных оливинов изменяется в пределах образца на 0,2–0,5%, что обуславливает вариацию вычисленных значений fO_2 на 0,3–1,0 лог. ед., а температуры на 50–100°C. Опираясь на имеющиеся результаты микрозондового исследования состава оливинов и шпинелей в шлифах мы можем интерпретировать такую вариацию железистости оливина как следствие химической зональности минерала (краевые части зерен на 0,5–1,0% менее железисты, чем центральные).

Рудное тело № 10 было опробовано на горизонте 590 метров, где оно разбито на два блока, разделенных интервалом дунита (рис. 101). В пределах блоков отмечается понижение фугитивности кислорода к контактам руд с вмещающим дунитом с 1,8–2,0 лог. ед. выше буфера FMQ в центре до +3 лог. ед. выше буфера FMQ в приконтактных частях. Температура оливин-шпинелевого равновесия изменяется противоположным образом – во внутренних частях блоков она достигает 700–800°C, и снижается до 600–640°C к их контактам. В север-

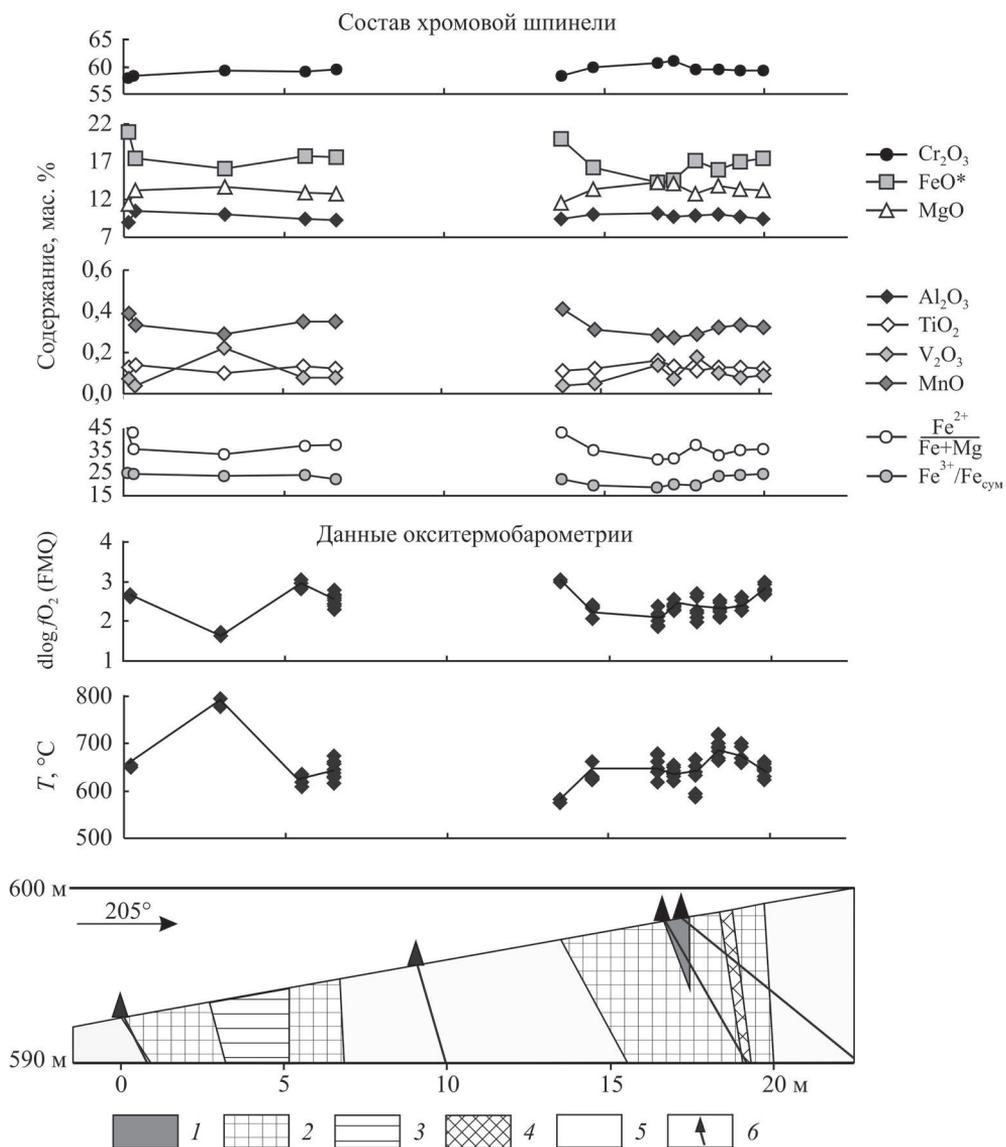


Рис. 101. Вариации химического состава рудообразующей хромовой шпинели, T и fO_2 по разрезу через рудное тело № 10, месторождение Центральное.

1–5 – хромовые руды: 1 – сплошные, 2 – густовкрапленные, 3 – средневкрапленные, 4 – редковкрапленные, 5 – рудовмещающие дуниты; 6 – буровые скважины и их номера

ном блоке тела наблюдается корреляция фугитивности кислорода с плотностью вкрапленности рудообразующей шпинели в хромитите. В южном блоке, напротив, изменение fO_2 не связано с вариациями плотности вкрапленности; основными трендом является повышение fO_2 к краю рудного тела. Однако можно отметить слабое (0,1 лог. ед., т.е. ниже уровня колебаний параметра из-за из-

менений железистости оливина) повышение фугитивности кислорода в линзе густовкрапленных руд. По температуре оливин-шпинелевого равновесия в южной части рудного тела № 10 устанавливается скрытая зональность – выделяется два блока, граница которых проходит по интервалу убоговкрапленных хромититов.

По вариациям T и fO_2 в блоках рудного тела наблюдается зональность, аналогичная таковой в зернах рудообразующих шпинелей (подробно изменение T и fO_2 при образовании химической зональности рудообразующих шпинелей и оливинов рассмотрено ниже).

Рудные тела рудопроявления Енгайское-1 неоднородны по своему внутреннему строению. Они представляют собой серии чередующихся прожилков хромититов с различным содержанием рудообразующего минерала, главным образом убого- и редковкрапленных. Мощность однородных по структуре рудных прожилков варьирует от 2 до 10–15 см.

Как видно на построенных диаграммах, в частях рудных тел, сложенных редковкрапленными или средневкрапленными хромититами отмечается повышение фугитивности кислорода. Наиболее явно это наблюдается в рудных телах № 742/1, № 742/2 и № 742/3, вскрытых горной выработкой К-742 (рис. 102).

В частях рудных тел, вскрытых горной выработкой К-713 (рис. 103), явной пропорциональности между густотой вкрапленности шпинели и фугитивностью кислорода не отмечается. В убоговкрапленных рудах fO_2 изменяется от типичных для них FMQ +1,0...+1,5 лог. ед., до значений, более характерных для руд с высоким содержанием шпинели – FMQ +2,6...+3,4 лог. ед. В убоговкрапленных рудах с повышенными значениями фугитивности кислорода появляются деформационные зоны, мощностью до 2 мм, сложенные более мелкими, чем в основной массе кристаллами оливина и обогащенные амфиболом. По данным микронзондового исследования, отличительной особенностью шпинелей, находящихся в контакте с зернами амфибола, является повышенное содержание FeO (25–30 мас. %) и пониженное Cr_2O_3 (52,0–53,5 мас. %) при обычных для шпинелей рудопроявления Енгайское-1 содержаниях Al_2O_3 (10–13 мас. %). То есть в хромовой шпинели трехвалентное железо изоморфно замещает хром. Это позволяет отделять образцы, повышение fO_2 в которых связано с метаморфизмом, приводящим к развитию деформационных зон от тех, в которых высокая фугитивность кислорода маркирует зоны повышенной вкрапленности рудообразующего минерала.

Таким образом, диапазон фугитивности кислорода, в котором происходит образование и изменение хромовых руд рудопроявления Енгайское-1 составляет FMQ +1,0...+3,4 лог. ед. В таких же пределах fO_2 изменяется от центра к краю в отдельном зерне шпинели. Концентрация рудного минерала происходит при фугитивности кислорода FMQ +2,4...+2,7 лог. ед., то есть в середине этого диапазона. Верхняя часть диапазона, составляющая FMQ +2,8...+3,4 лог. ед., соответствует поздним преобразованиям хромититов, при которых изоморфизм $Al^{3+} \leftarrow Cr^{3+}$ сменяется на $Cr^{3+} \leftarrow Fe^{3+}$.

Обобщая вышесказанное, можно сделать несколько основных выводов. Внутри тел массивных хромовых руд месторождения Центральное наблюдается снижение температуры и увеличение значений фугитивности кислорода к

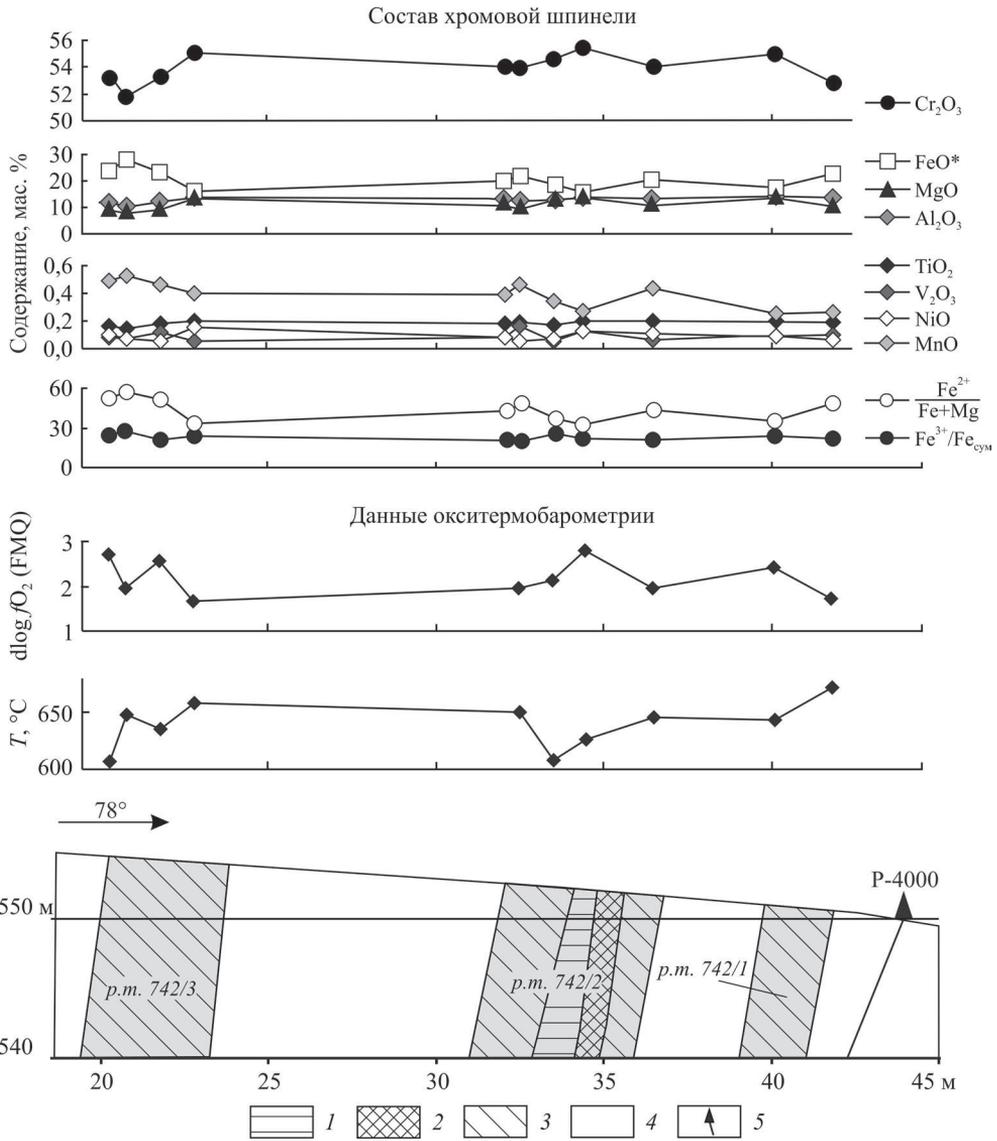


Рис. 102. Вариации химического состава состава рудообразующей хромовой шпинели, T и fO_2 по разрезу через рудные тела № 742/1, 742/2, 742/3, рудопроявление Енгайское-1.

1–3 – хромовые руды: 1 – средневкрапленные, 2 – редковкрапленные, 3 – убоговкрапленные; 4 – рудовмещающие дуниты; 5 – буровые скважины и их номера

эндоконтактам рудных тел. Во вкрапленно-полосчатых хромититах рудопроявления Енгайское-1 повышение значений fO_2 отражает два основных процесса: (1) увеличение содержания рудообразующей шпинели и мощности рудного тела, то есть масштаба оруденения; (2) метаморфизм с развитием в хромититах зон рекристаллизации, обогащенных амфиболом. В первом случае в соста-

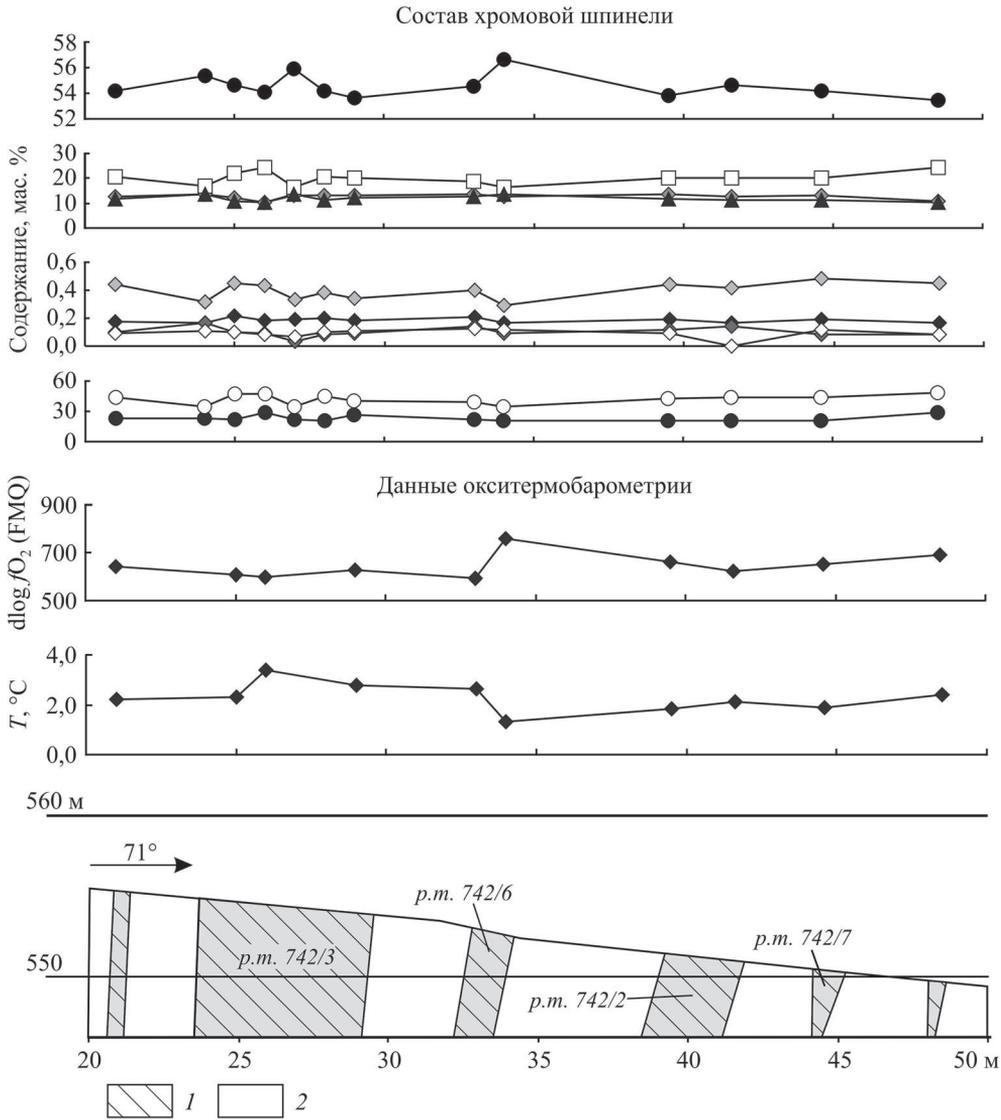


Рис. 103. Вариации химического состава рудообразующей хромовой шпинели, T и f_{O_2} по разрезу через рудные тела № 742/2, 742/3, 742/6, 742/7, рудопроявление Енгайское-1.

1 – убоговкрапленные хромовые руды; 2 – рудовмещающие дуниты

в шпинели увеличивается количество Cr, без изменения содержания Fe^{3+} , то есть наблюдается изоморфизм $Al^{3+} \leftarrow Cr^{3+}$; чистые случаи такого изоморфизма в пределах рудопроявления крайне редки и проявлены в шпинелях наиболее крупных рудных тел. Во втором случае в шпинелиде наблюдается изоморфизм $Cr^{3+} \leftarrow Fe^{3+}$, отражающий поздние метаморфические преобразования минерала.

Изменение T и fO_2 в процессе формирования химической зональности зерен оливинов и хромовых шпинелей

Зерна сосуществующих оливинов и хромовых шпинелей из ультрамафитов и хромититов рудопроявления Енгайское-1 и месторождения Центральное обладают химической зональностью (см. главу 7). Эта зональность появляется вследствие: (1) диффузионного перераспределения катионов магния и железа между оливинами и шпинелями (Irvine, 1965, 1967; Ozawa, 1984; Lehmann, 1983 и др.); (2) изменения P - T - fO_2 параметров в процессе их кристаллизации или рекристаллизации (Evans, Frost, 1975; Bliss, MacLean, 1975; Colas et al., 2014 и др.); (3) направленного стресса (Ozawa, 1989, Suzuki et al., 2008; Satsukawa et al., 2015 и др.).

Нами был выполнен расчет T и fO_2 по составам центральных и краевых частей зерен шпинели и оливина, находящихся в контакте, в парах центр зерна оливина – центр зерна шпинели (далее центры зерен) и край зерна оливина – край зерна шпинели (далее края зерен).

Центры и края зерен минералов из хромититов месторождения Центральное контрастны по значениям параметров (табл. 21, рис. 104). Температура оливин-шпинелевого равновесия для центров зерен составляет 616–710°C, фугитивность кислорода изменяется в пределах 1,9...2,9 лог. ед. выше буфера FMQ, в среднем принимая значения 2,0...2,5 лог. ед. Для краев зерен установлены более низкие значения температур – 542–629°C и более высокие значения fO_2 , 2,5...4,2, в среднем 3,0...3,5 лог. ед. выше FMQ. В образце РШ-59 густовкрапленной до сплошной хромовой руды (количество рудообразующей шпинели 85–90%) наблюдается наименьшая разница по значениям расчетных температуры и фугитивности кислорода между краями и центрами зерен минералов, а также наиболее высокая фугитивность кислорода в центрах зерен (см. табл. 21).

Состав рудообразующих хромовых шпинелей на рудопроявлении Енгайское-1 неоднороден. Шпинели из убоговкрапленных руд отличаются от таковых из редковкрапленных более высокой железистостью (в центральных частях зерен из убоговкрапленных хромититов $f = 49$ –59%, из редковкрапленных 41–42%); содержанием Al_2O_3 (в убоговкрапленных – 8–11 мас. %, в редковкрапленных – 12,7–13,0 мас. %) и количеством Fe_2O_3 (в убоговкрапленных – 3,08–6,14 мас. %, в редковкрапленных – 2,26–2,56 мас. %). Степень окисления железа в шпинелях из убоговкрапленных и редковкрапленных хромититов одинакова и изменяется в пределах (для центров зерен) 12–22%, постепенно

Таблица 21

Расчетные значения T и $dlog fO_2$ в детально изученных образцах

| Образец | $dlog fO_2$ (FMQ) | | T , °C | | Структура руды |
|----------|-------------------|---------|----------|---------|------------------------------|
| | Центр | Край | Центр | Край | |
| РШ-59 | 2,6–2,9 | 2,9–3,2 | 616 | 587–597 | Густовкрапленная до сплошной |
| РШ-69 | 1,9–3 | 2,5–3,2 | 624–637 | 542–629 | |
| РШ-70 | 2–2,6 | 2–3,1 | 614–710 | 580–589 | |
| РШ-81 | 2,1–2,5 | 3,4–4,2 | 673–712 | 679–598 | |
| Е-217-4 | 2,4 | 2,7 | 706 | 596 | |
| Е-217-10 | 2,2–2,3 | 3,4–3,7 | 667–698 | 604–616 | Густовкрапленная |

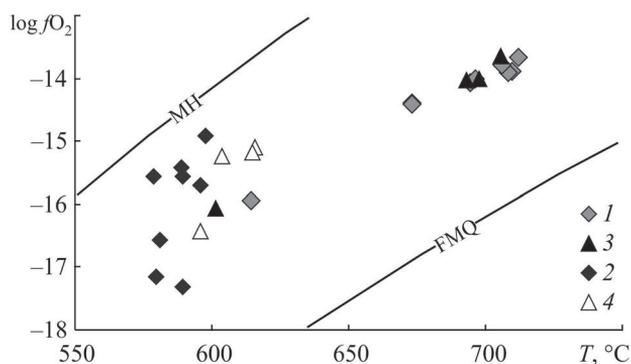


Рис. 104. Диаграмма T - $\log fO_2$ для хромититов рудной залежи № 9 (рудные тела № 9 и 48/1 и) и рудного тела № 10; месторождение Центральное.

1 – центры зерен хромовых шпинелей и оливинов из хромититов рудной залежи № 9, 2 – края зерен, 3 – центры зерен хромовых шпинелей и оливинов из хромититов рудного тела № 10, 4 – края зерен

возрастая к краям зерен на 10–15%. Несмотря на существенные вариации содержания как трехвалентных, так и двухвалентных катионов в составе минерала, содержание в нем оксида хрома находится на уровне 55–57 мас. %. Количество компонента понижается к краю зерна минерала в среднем на 2%. Таким образом, основным для шпинелей рудопроявления является изовалентный изоморфизм $Al^{3+} \leftarrow Fe^{3+}$, проявленный как внутри отдельных зерен, так и от зерна к зерну.

Внутренние части зерен рудообразующей шпинели формируются при фугитивности кислорода 1,3–2,1 лог. ед. выше буфера FMQ и температуре 630–690°C, в кайме наблюдается постепенное увеличение содержания окисного железа, и обеднение минерала алюминием (содержания компонентов строго обратно пропорциональны) при этом фугитивность кислорода повышается к краю до 3,1–3,7 лог. ед. выше буфера FMQ, а температура, напротив, понижается до 557–568°C (рис. 105).

Рудовмещающие ультрамафиты месторождения Центральное представлены энстатит-оливиновыми и амфибол-энстатит-оливиновыми породами. Для центров зерен оливина и шпинели из амфибол-энстатит-оливиновой породы РШ-48 (рис. 106) установлены температуры 636–648°C и фугитивность кислорода на 3,7–4,7 лог. ед. выше буфера FMQ. Края зерен формировались при температуре 618–659°C и фугитивности кислорода FMQ +3,8...+4,3 лог. ед. В одном случае, в зерне акцессорной шпинели, находящемся внутри зоны рекристаллизации в породе совместно с амфиболом и энстатитом, наблюдается понижение $d \log fO_2(FMQ)$ от центра (+4,7 лог. ед.) к краю (+3,8 лог. ед.), которое сопровождается понижением температуры с 636 до 618°C.

В оливин-энстатитовой породе РШ-45 (см. рис. 106) температура и фугитивность кислорода в пределах изученных зерен практически неизменны. Температура для центров зерен оливина и шпинели составляет 665–662°C, для краев 662–651°C. Фугитивность кислорода, как для краевых, так и для центральных частей зе-

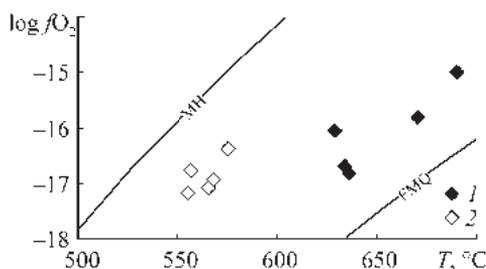


Рис. 105. T - fO_2 -параметры образования/преобразования центральных (1) и краевых (2) частей зерен рудообразующих шпинелей и оливинов из хромититов рудопроявления Енгайское-1

рен находится в пределах $d\log fO_2(\text{FMQ}) +5,0...+5,2$ лог. ед. Вариации изученных параметров от центров к краям зерен находятся в пределах ошибки метода, что указывает на их постоянство в процессе формирования зональности.

Центры зерен оливинов и шпинелей дунитов рудопроявления Енгайское-1 (Е-2010, см. рис. 106) сформировались при $T = 630-660^\circ\text{C}$ и $fO_2 \text{ FMQ} + 0,7...1,8$ лог. ед.; к краям зерен температура понижается до $595-650^\circ\text{C}$, а фугитивность кислорода повышается до $\text{FMQ} + 2,5...3$ лог. ед.

Помимо рудовмещающих пород (метаультрамафитов) были изучены фоновые, удаленные от основных месторождений слабо измененные гарцбургиты из двух мест – на юго-востоке массива (руч. Безымянный) и на юго-западе, к юго-востоку от южного окончания Южного дунитового тела.

Для гарцбургитов, обнажающихся в русле руч. Безымянный, в юго-восточной части массива (см. рис. 106) характерна необычная зональность хромовых шпинелей (см. раздел 3.1) – к краю в среднем на 3 мас. % понижается количество Cr_2O_3 и на 2 мас. % Fe_2O_3 , при этом возрастает количество Al_2O_3 . Формирование этой зональности происходило в условиях понижения температуры и фугитивности кислорода с $670-700^\circ\text{C}$ и $\text{FMQ} +0...+1,6$ лог. ед. в центрах зерен до $560-600^\circ\text{C}$ и $\text{FMQ} -1,6-1,8$ в краях. В дунитах, образующих жильные выделения среди гарцбургитов руч. Безымянный, условия образования оливин-шпинелевого парагенезиса несколько иные. Температура в центрах и краях зерен в среднем составляет $650 \pm 50^\circ\text{C}$; fO_2 в центрах зерен около $\text{FMQ} +1,5$ лог. ед. и повышается к краю на $0,2-0,4$ лог. ед., то есть зональность является более типичной для пород и хромититов массива Рай-Из.

Гарцбургиты юго-западной части массива Рай-Из (см. рис. 106) образовались в еще более восстановительных условиях: $d\log fO_2 (\text{FMQ})$ в центрах зерен составляет $-1,6$ лог. ед., в краях $-2,7$ лог. ед., температуры составляют 600 и 650°C для центров и краевых частей, соответственно. В зернах энстатита и вокруг них наблюдаются удлиненные (ламели) и каплевидные включения хромовой шпинели. Формирование этих ламелей происходило при $fO_2 -0,1...1,0$ относительно фаялит-магнетит-кварцевого буфера.

Изучение $T-fO_2$ -параметров в центральных и краевых частях зерен шпинелей и оливинов месторождения Центральное и рудопроявления Енгайское показало, что формирование их химической зональности (подробно рассмотрен-

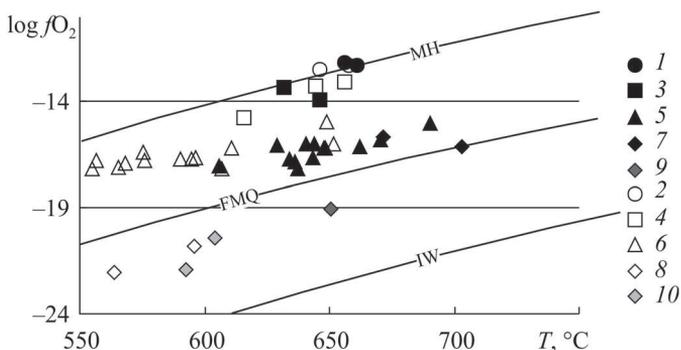


Рис. 106. Диаграмма $\log fO_2-T$ для для центральных и краевых частей зерен аксессуарных шпинелей и оливинов метаультрамафитов массива Рай-Из.

1, 2 – энстатит-оливиновая порода, месторождение Центральное: 1 – центры зерен, 2 – края зерен; 3, 4 – амфибол-энстатит-оливиновая порода, месторождение Центральное: 3 – центры зерен, 4 – края зерен; 5, 6 – дуниты р.п. Енгайское-1: 5 – центры зерен, 6 – края зерен; 7, 8 – гарцбургит восточной части массива: 7 – центры зерен, 8 – края зерен; 9, 10 – гарцбургит юго-западной части массива: 9 – центры зерен, 10 – края зерен

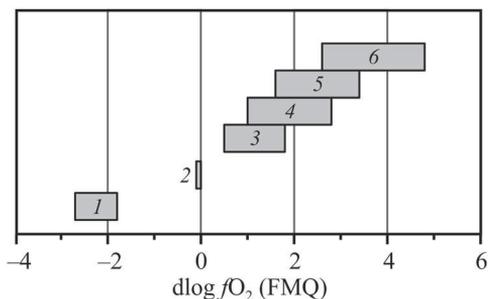


Рис. 107. Вариации фугитивности кислорода в рудах и породах массива Рай-Из.

1 – неизменные гарцбургиты руч. Безмянный и юго-западного контакта массива; 2 – ламели шпинели из неизменных гарцбургитов; 3 – рудовмещающие метаультрамафиты р.п. Енгайское-1; 4 – хромовые руды рудопроявления Енгайское; 5 – хромовые руды месторождения Центральное; 6 – рудовмещающие метаультрамафиты месторождения Центральное

условиях формировалась зональность аксессуарных шпинелей и породообразующих оливинов рудовмещающих дунитов рудопроявления Енгайское-1. Формирование зональности оливинов и шпинелей рудовмещающих ультрамафитов месторождения Центральное происходило при наиболее высоких на массиве значениях fO_2 (рис. 107), которая, как и температура оставалась постоянной в ходе этого процесса.

Вариация степени окисления хромититов в пределах массива Рай-Из

Нами проведена оценка T - fO_2 -параметров для хромовых руд большинства рудных объектов массива Рай-Из на основе данных, вошедших в ряд отчетов (Царицын и др., 1980; Алимов, Вахрушева, 1990; Вахрушева и др., 2009, 2012, 2015; Никольская и др., 2014; и др.) и публикаций (Ширяев, Вахрушева, 2012). На оригинальном материале проведена оценка для хромититов рудопроявлений Енгайского, Южного и Юго-Западного (рис. 108) рудных полей.

Установлено, что вкрапленно-полосчатые хромовые руды, залегающие в дунитовых телах – рудопроявления Енгайское-1, Енгайское-2, рудопроявление Рыбий Хвост, рудопроявления Юго-Западное-2, -3, -4 и др., образовались при fO_2 на 1–2 лог. ед. выше буфера FMQ (рис. 109, 110). Хромититы месторождений Центральное, Западное, рудопроявления № 214 и других рудопроявлений, лока-

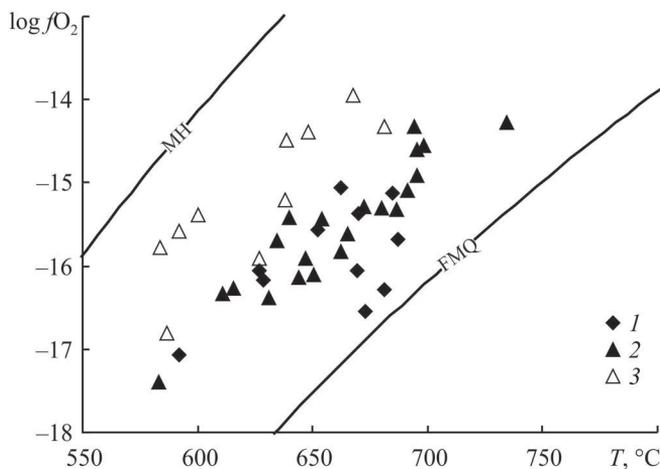


Рис. 108. Диаграмма $\log fO_2$ - T для хромовых руд Юго-Западного рудного поля массива Рай-Из.

1 – рудопроявление Юго-Западное-3, 2 – рудопроявление Юго-Западное-4 в дунитах, 3 – рудопроявление Юго-Западное-4 в метаморфизованном дунит-гарцбургитовом комплексе

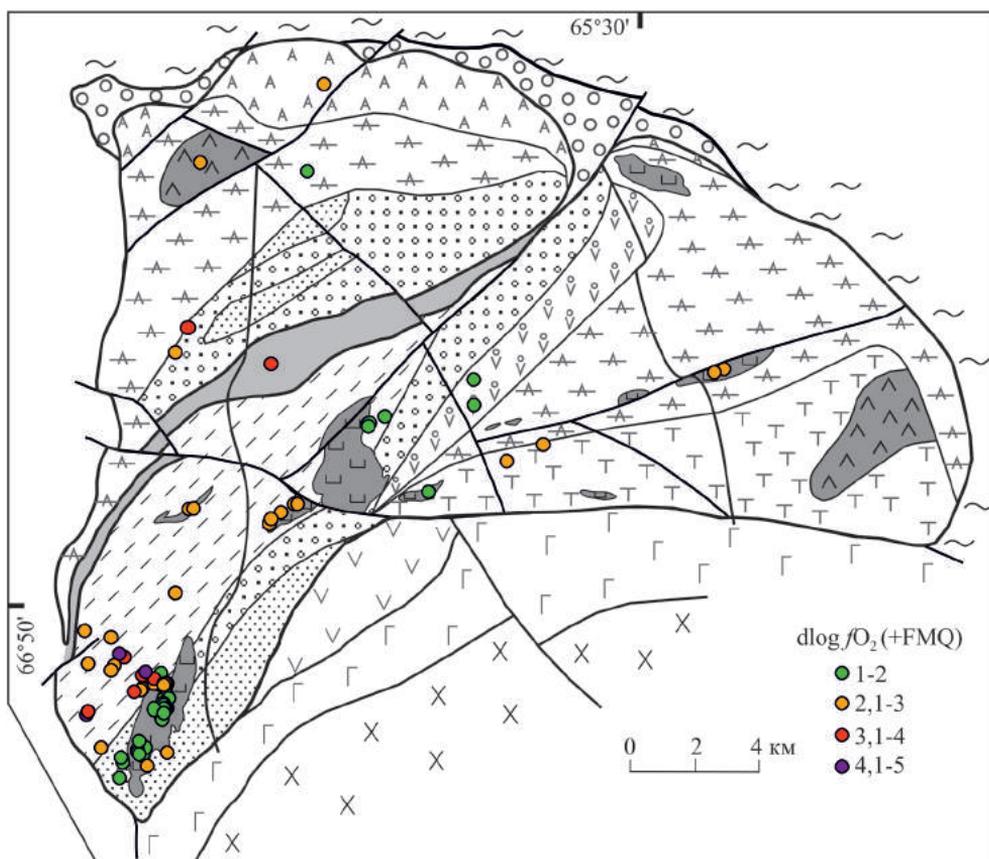


Рис. 109. Изменчивость фугитивности кислорода в хромититах массива Рай-Из.

Условные обозначения см. рис. 17 (глава 2)

лизованных преимущественно в породах метаморфизованного дунит-гарцбургитового комплекса, образовались при fO_2 на 2–3 лог. ед. выше буфера FMQ. Для ряда мелких рудных тел, также залегающих в метаморфизованном дунит-гарцбургитовом комплексе в пределах Юго-Западного рудного поля получены более высокие значения $d\log fO_2 (FMQ) +3,1...+4,0$ лог. ед.

От слабо измененных разностей гарцбургитов к энстатит-оливиновым породам наблюдается увеличение фугитивности

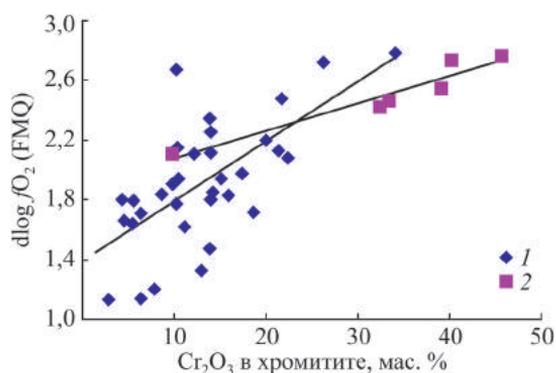


Рис. 110. Зависимость количества хромовой шпинели (содержание Cr_2O_3) в хромитите от фугитивности кислорода.

1 – рудопроявление Енгайское-1, 2 – месторождение Центральное

кислорода в ультрамафитах (см. рис. 107). Образование хромититов происходит в условиях промежуточных значений fO_2 (1,5–3,2 лог. ед.). За начальную точку рудогенеза можно принимать этап обособления рудной фазы в силикатах – образования в силикатных минералах ламелей хромшпинелида, которое происходит при fO_2 FMQ +0,1...+1,0 лог. ед. Далее следует образование бедных вкрапленных руд (рудопроявления Енгайское и Юго-Западные 2, 3, 4 и другие, локализованные в телах дунитов). При fO_2 2–3 лог. ед. выше буфера FMQ, на фоне высокого динамического давления, происходит концентрирование рудного компонента с образованием богатых хромититов (месторождения Центральное, Западное, рудопроявление № 214). При снижении температуры, давления и дальнейшем возрастании значений fO_2 шпинелиды обогащаются Fe^{3+} на фоне понижения содержания Al и отчасти Cr. Наивысшие значения fO_2 характерны для энстатит-оливиновых пород (см. рис. 107).

Сама по себе фугитивность кислорода не является непосредственным фактором рудогенеза. Это подтверждается сопоставлением с хромититами Кемпирсайского массива, исследование которых методом окситермобарометрии было выполнено И.С. Чашухиным с соавторами (например, Чашухин и др, 2007). В сплошных и густовкрапленных рудах установлен диапазон fO_2 –1...+1 лог. ед. относительно буфера FMQ, что намного ниже чем, например, для хромититов месторождения Центральное массива Рай-Из. Однако, изменение фугитивности кислорода взаимосвязано со стадийностью петрогенезиса/метаморфизма ультрамафитов, частью которого является и рудообразование.

МИНЕРАЛОГИЯ И ГЕОХИМИЯ ХРОМИТИТОВ И РУДОВМЕЩАЮЩИХ УЛЬТРАМАФИТОВ

7.1. Химический состав и зональность рудообразующих шпинелей и оливинов

Химический состав хромовой шпинели несет информацию о ее генезисе (Irvine, 1965, 1967; Sack, 1982; Kamenetsky et al., 2001; Barnes, Roeder, 2001; и др.). На сегодняшний день существуют сводки о составах шпинелей (главным образом, акцессорных), сформировавшихся в различных геодинамических обстановках, изучено влияние метаморфизма на состав минерала, исследованы процессы ионного обмена между шпинелями и сосуществующими силикатами.

Для химических составов хромовых шпинелей отечественными специалистами применяется две основные классификации. Первая и наиболее проработанная из них предложена Н.В. Павловым (1949, 1968). Она позволяет определять минеральный вид шпинелида на основе соотношения содержаний трехвалентных и двухвалентных катионов в структуре минерала. Выделяется 12 минеральных видов шпинелида, которые подразделяются на два подтипа – магнезиальный и железистый.

Вторая классификация рудообразующих шпинелей предложена Б.В. Первозчиковым (1995). Она основана как на составах минералов (в работе приведены границы по содержанию Cr_2O_3 и Al_2O_3), так и на принадлежности пород рудовмещающей ассоциации к определенному структурно-вещественному комплексу. Последнее позволяет прогнозировать состав рудообразующей шпинели, основываясь на данных о геологическом строении изучаемого объекта. На основе этой классификации выделяется три типа шпинелей – глиноземистые магнезиальные (в породах гарцбургитового комплекса); высокохромистые магнезиальные (в дунит-гарцбургитовом комплексе); высокохромистые железистые (в породах дунит-верлит-клинопироксенитового комплекса).

Составы хромовых шпинелей массива Рай-Из, которые являются предметом настоящего исследования, обсуждаются в значительном числе публикаций. Химический состав рудообразующих шпинелей месторождения Центральное и, отчасти, рудопроявления Енгайское-1, отражен в ряде работ (Макеев и др., 1985, 1992, 1999; Строение..., 1990; Первозчиков и др., 2005; Чашухин и др., 2007; Селиванов, Вахрушева, 2010; Ширяев, Вахрушева, 2016; Shiryaev, Vakhrusheva, 2017; и др.).

В работе (Строение..., 1990) показано, что хромовые шпинели месторождения Центральное относятся к высокохромистому магнезиальному типу с модальным содержанием Cr_2O_3 59–60%. Приведенные в монографии гистограммы характеризуют, главным образом, шпинели западной подзоны Северного

участка месторождения Центральное (см. рис. 46). Гистограмма распределения содержания Cr_2O_3 в шпинелях южной части месторождения построена на небольшой (не более 15 анализов) выборке. На ней проявлены две моды – 56–58 и 59–60% Cr_2O_3 (Строение..., 1990). В работах использованы результаты химического анализа («мокрой химии») монофракций рудообразующих шпинелидов.

И.С. Чашухиным (Чашухин и др., 2007) составы рудообразующих шпинелей массива Рай-Из используются как индикаторы условий образования руд. С точки зрения авторов, руды месторождения являются метасоматическими (продуктами метаморфической дифференциации). Соотношения железистости и хромистости в рудообразующих шпинелях связаны прямой зависимостью, при этом составы наиболее железистых и хромистых шпинелей отвечают таковым аксессуарных шпинелей дунитов. По мнению авторов, это позволяет рассматривать дуниты в качестве эдуктов метаморфической дифференциации для райизских хромититов.

Взаимосвязь химического типа руд массива Рай-Из с геологическим положением оруденения (количеством дунитовой составляющей в разрезе) показана в работе Б.В. Перевозчикова с соавторами (Перевозчиков и др., 2005; Строение..., 1990). Согласно данным, полученным авторами, с дунитами ассоциируют хромититы, сложенные наиболее хромистыми (количество катионов Cr в элементарной ячейке рудообразующего шпинелида в расчете на 24 катиона – 11–13 ф.е.), а с гарцбургитами – наиболее глиноземистыми (5,5–9,5 ф.е. Cr) шпинелидами.

В работе Р.А. Селиванова и Н.В. Вахрушевой (2010) обсуждаются составы шпинелей рудопроявления Енгайское-1. Отмечено, что по классификации Н.В. Павлова они соответствуют алюмохромиту, а по классификации Б.В. Перевозчикова относятся к высокохромистым магнезиальным шпинелидам.

Хромовые руды Южного участка месторождения Центральное изучены на примерах 9-й рудной залежи и рудных тел № 10 и 31. Петрографический состав ультрамафитов, в которых локализованы рудные тела, различен: рудное тело № 10 залегает в теле пегматоидных, слабо серпентинизированных дунитов, протяженностью 200 и мощностью около 100 метров; рудные тела залежи № 9 и рудное тело № 31 локализованы в породах метаморфизованного дунит-гарцбургитового комплекса. Содержание дунитовой составляющей в рудовмещающем комплексе рудного тела № 31 составляет 30–50%, рудной залежи № 9 – 50–70%. Нормативные гарцбургиты представлены метаультрамафитами – энстатит-оливиновыми и амфибол-энстатит-оливиновыми породами.

Руды Северного участка месторождения залегают в юго-западной апофизе Центрального дунитового тела. Рудовмещающие дуниты характеризуются пегматоидной структурой (размер зерна оливина достигает 10–15 см), серпентинизированы слабо (степень серпентинизации менее 10%). Оруденение изучено на примере двух рудных тел – № 6 и № 8.

Общие закономерности изменения составов рудообразующих хромовых шпинелей и оливинов месторождения Центральное и рудопроявления Енгайское-1

Рудообразующие хромовые шпинели изученных объектов различаются в первую очередь хромистостью ($\text{Cr}\# = \text{Cr}/(\text{Cr} + \text{Al})$), которая для месторож-

дения Центральное составляет 80–85%, а для рудопроявления Енгайское-1 – 73–75%, при этом степень окисления железа ($Fe\# = Fe^{3+}/(Fe^{3+} + Fe^{2+})$) в обоих случаях в среднем находится на уровне 18–25%. Это наглядно иллюстрирует тройная диаграмма (рис. 111).

Для изучения особенностей состава рудообразующих шпинелей месторождения Центральное были построены гистограммы распределения содержаний основных компонентов – Cr_2O_3 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 и MgO . На гистограмме распределения содержания Cr_2O_3 для шпинелей Южного участка месторождения проявлена бимодальность с модальными значениями – 59,5 и 61,5 мас. %, (рис. 112). В связи с этим, по содержанию Cr_2O_3 было выделено две группы хромовых шпинелей – первая содержит 57,0–60,5 и вторая – 60,5–64,0 мас. % Cr_2O_3 . В первую попала большая часть шпинелей из рудного тела № 10 и часть шпинелей из рудной залежи № 9, во вторую – большинство шпинелей 31-го рудного тела, а также часть проб из рудной залежи № 9. В обеих группах преобладают шпинели с содержанием Al_2O_3 7–12 мас. %. При этом в шпинелях первой группы содержание компонента – 8–12 мас. %, второй группы – 7–11 мас. %. Очевидно, что более высокое содержание Cr_2O_3 и Al_2O_3 в шпинелях второй группы должно сопровождаться более низким – Fe_2O_3 , что и наблюдается в изученных минералах (см. рис. 112). Содержание окиси и закиси железа определялось как при помощи мессбауэровской спектроскопии, так и из расчета на основании стехиометрического соотношения двух- и трехвалентных катионов в структуре шпинели. Диапазон содержаний Fe_2O_3 для шпинелей первой группы 2,8–6 мас. % (в одной пробе 8,5 %), второй – 1,2–4,5 мас. %. Содержание MgO в шпинелях обеих групп находится в диапазоне 11–15 мас. %, однако среди шпинелей первой группы преобладают составы с 13–14 мас. %, а второй – 14–15 мас. % MgO .

Рудообразующие шпинели из хромититов Северного участка месторождения Центральное несколько отличаются по составу от шпинелидов из хромититов Южного (рис. 113). На гистограмме распределения содержаний Cr_2O_3 в шпинелидах из хромититов Северного участка также наблюдается две моды, соответствующие 58,5 и 60,5 мас. %, то есть шпинели чуть менее хромисты и в целом относятся скорее к первой группе составов шпинелей, выделенной на Южном участке. Содержание Al_2O_3 в них также близ-

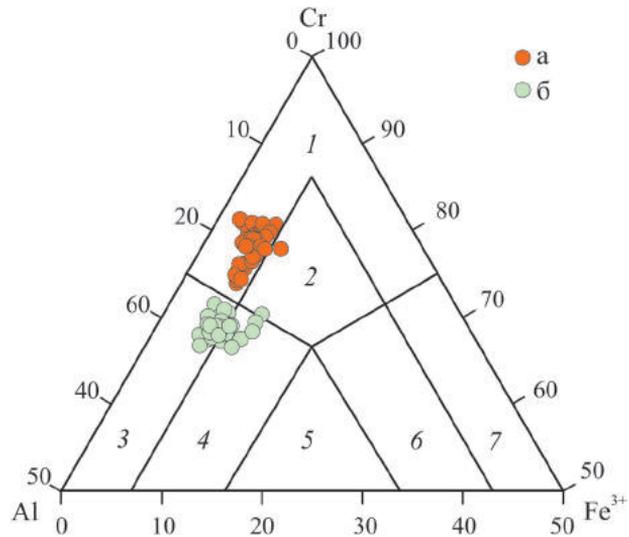


Рис. 111. Диаграмма составов рудообразующих хромовых шпинелей месторождения Центральное (а) и рудопроявления Енгайское-1 (б).

Поля составов по классификации Н.В. Павлова (1949, 1968): 1 – хромит, 2 – субферрихромит, 3 – аллохромит, 4 – субферриаллохромит, 5 – ферриаллохромит, 6 – субалломоферрихромит, 7 – феррихромит

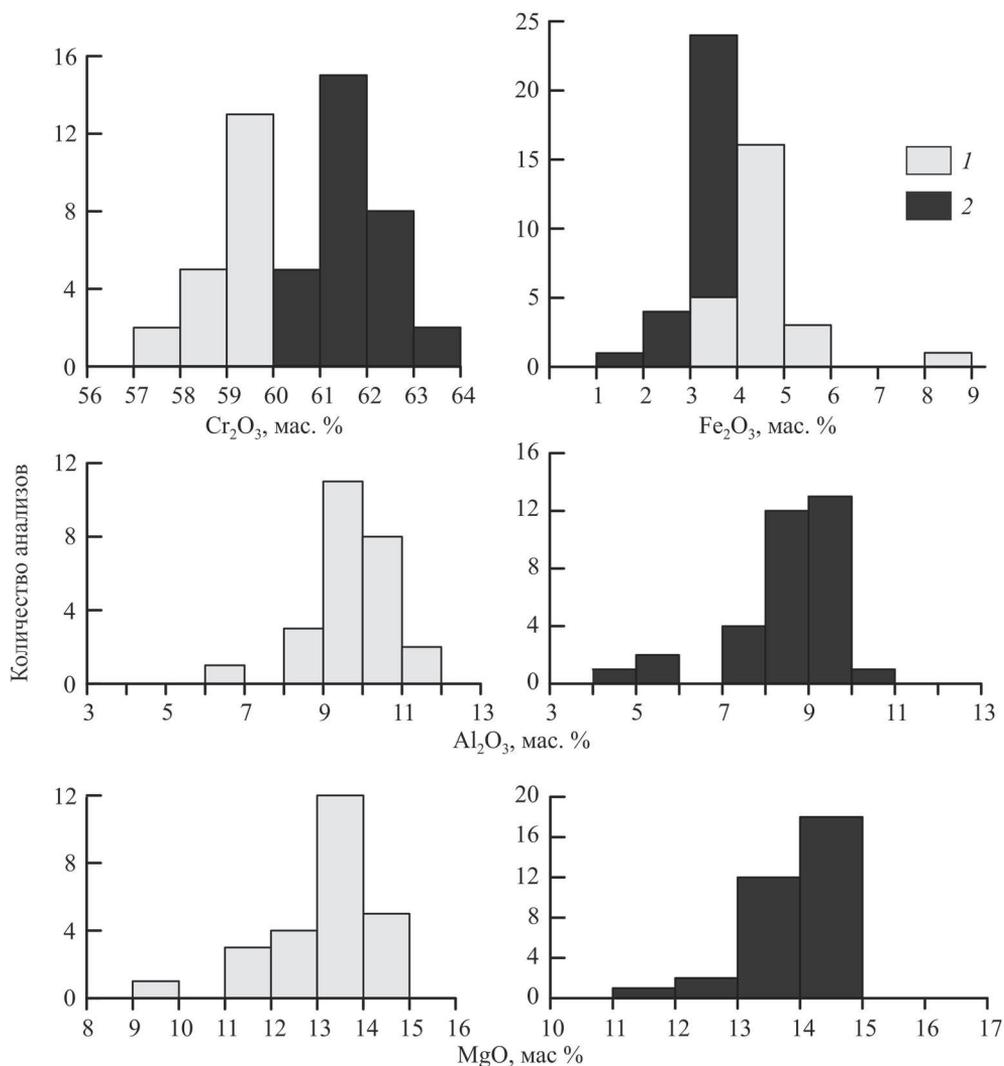


Рис. 112. Гистограммы распределения содержаний основных компонентов в рудообразующих шпинелях из хромитов Южного участка месторождения Центральное.

1 – шпинели с содержанием Cr₂O₃ < 60%, 2 – Cr₂O₃ > 60%

ко к шпинелям первой группы – мода соответствует 10–11 мас. %, однако наблюдается более низкое модальное содержание Fe₂O₃ – 3–4 мас. % и более высокое MgO – 14–15 мас. %.

Содержание Cr₂O₃ в рудообразующих шпинелях рудопроявления Енгайское-1 подчиняется нормальному распределению с модальным значением 54–55 мас. % (рис. 114); модальные значения содержаний Al₂O₃ – 13–14 мас. %, Fe₂O₃ – 4–5 мас. %. При этом для первого компонента наблюдается левосторонняя асимметрия в распределении содержаний, а для второго – правосторонняя,

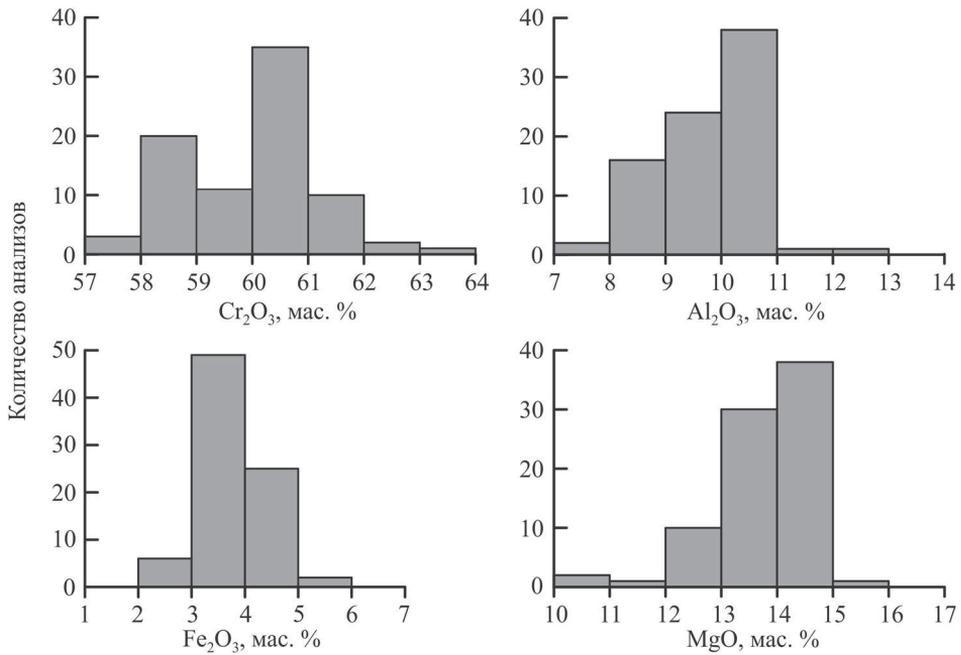


Рис. 113. Гистограммы распределения содержаний основных компонентов в рудообразующих шпинелях из хромитов Северного участка месторождения Центральное

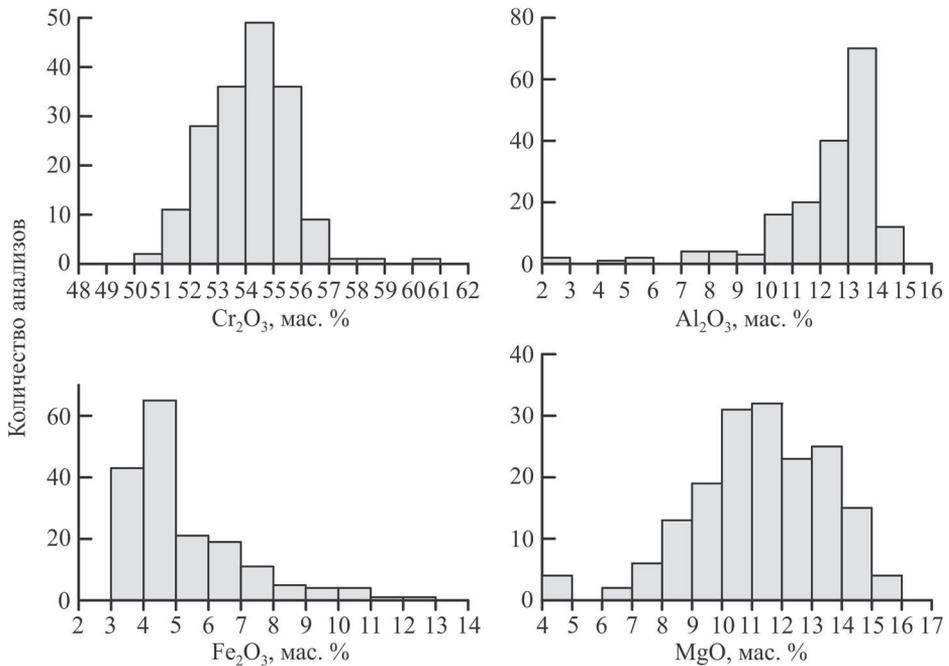


Рис. 114. Гистограммы содержаний основных элементов в рудообразующих шпинелях рудопроявления Енгайское-1

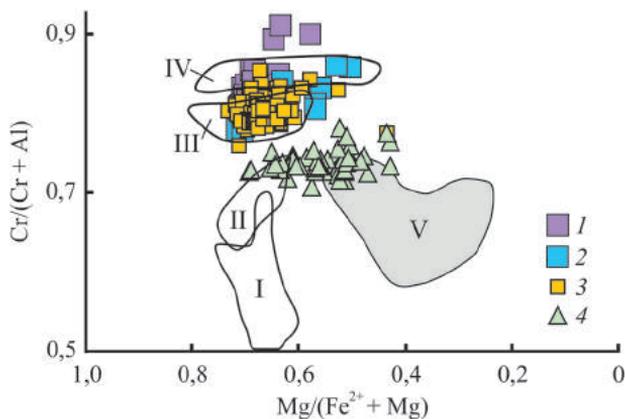


Рис. 115. Дискриминационная диаграмма Mg#–Cr# для хромовых шпинелей.

1, 2 – южный участок месторождения Центральное: 1 – шпинели с содержанием $\text{Cr}_2\text{O}_3 > 60$ мас. %, 2 – шпинели с содержанием $\text{Cr}_2\text{O}_3 < 60$ мас. %; 3 – северный участок месторождения Центральное; 4 – рудопроявление Енгайское-1.

Поля составов рудообразующих шпинелей офиолитовых и стратиформных массивов по (Johnson, 2012): 1–IV – хромититы офиолитовых массивов: I – Оман, II – Тродос и Лимасол, III – Луобуса, IV – Кемпирсай; V – хромититы стратиформных массивов

25–55%) и ограниченным интервалом значений хромистости Cr# (60–75%). Поля составов рудообразующих шпинелидов различных эталонных офиолитовых массивов обозначены на диаграмме цветом. Видно, что при небольших вариациях железистости шпинели, ее хромистость от массива к массиву существенно изменяется. Составы шпинелей месторождения Центральное (большая часть шпинелей первой группы Южного участка и шпинели Северного участка) близки к таковым массива Луобуса и Кемпирсайского массива (шпинели второй группы). Рудообразующие шпинелиды рудопроявления Енгайское-1, при сравнительно невысокой хромистости (в среднем, 70–75%) и магнезиальности 40–70% образуют поле, частично перекрывающееся с составами шпинелей кипрских массивов Тродос и Лимасол, а наиболее железистые составы попадают в поле стратиформных комплексов.

Изменение состава шпинели в координатах TiO_2 –Cr# (рис. 116) мно-

что является следствием обратной их пропорциональности. На гистограмме распределения содержаний MgO наблюдается слабо выраженная бимодальность с модами 11–12 мас. % и 13–14 мас. %; количество компонента варьирует в широких пределах, что обусловлено изменчивостью густоты вкрапленности руд.

Диаграмма Mg#–Cr# ($\text{Mg\#} = \text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe}^{2+})$; $\text{Cr\#} = \text{Cr}/(\text{Cr} + \text{Al})$) в шпинели (рис. 115) позволяет разграничить составы рудообразующих шпинелей стратиформных и офиолитовых массивов. Первые отличаются более высокой железистостью (низкой магнезиальностью Mg# –

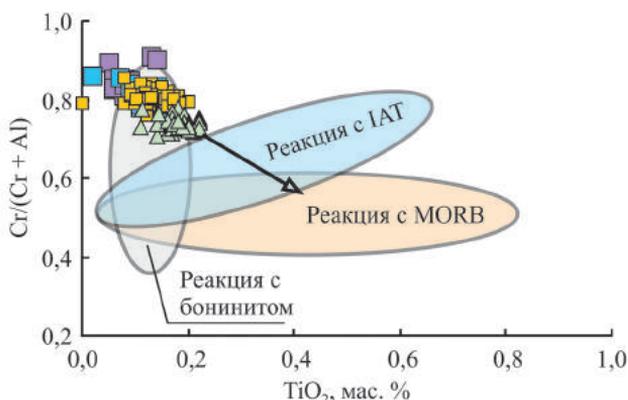


Рис. 116. Дискриминационная диаграмма TiO_2 –Cr# для определения типа рудогенерирующего расплава.

Условные обозначения – см. рис. 115. Поля составов по (Pearce et al., 2000)

гими современными петрологами, затрагивающими в своих исследованиях вопрос хромитообразования, рассматривается как индикатор состава расплава, реакция которого с перидотитами приводит к образованию хромовых руд (Pearce, 2000; Arai, 2016; Johnson, 2012). Выделяется несколько трендов, соответствующих разным составам этих расплавов, на рисунке они обозначены цветом. Согласно этой модели, содержание окиси титана и хромистость шпинели либо находятся в прямой пропорциональности, либо в крайних случаях (базальты MORB и бониниты), при постоянном значении одной из переменных, значение другой варьирует в широких пределах.

В рудообразующих хромовых шпинелях массива Рай-Из между содержанием TiO_2 и величиной $Cr\#$ шпинелей наблюдается обратная пропорциональность. В наиболее хромистых шпинелях Южного участка месторождения Центральное содержание TiO_2 в два раза ниже, чем в шпинелях рудопроявления Енгайское-1. Это может быть проинтерпретировано, как постепенное изменение во времени состава рудогенерирующего расплава, от толеитовых базальтов к бонинитам, однако отсутствие на массиве и в его окружении обоих разновидностей вулканитов, в т.ч. метаморфизованных, делает любые попытки интерпретировать генезис хромовых шпинелей подобным образом абсолютно несостоятельными. В работе (Pearce, 2000) отмечено, что для аксессуарных шпинелей обратным в этих координатах является тренд деплетирования перидотитов. Содержание титана в минерале снижается, а хромистость повышается в ряду перцолит – гарцбургит – дунит. Однако, в нашем случае, наиболее хромистыми (и с максимальным содержанием TiO_2) являются шпинелиды из руд гарцбургитовых разрезов. Соответственно, процессы рудообразования не связаны ни со взаимодействием перидотитов с основными расплавами, ни непосредственно с деплетированием.

Диаграмма $Fe^{2+}/(Fe^{2+} + Mg) - Cr/(Cr + Al + Fe^{3+} + Ti)$ была предложена в работе (Маракушев, Панях и др., 2004). На ней выделены поля составов аксессуарных шпинелей из ультрабазитов, образовавшихся в различных $P-T$ условиях – от пироповых алмазоносных перидотитов до пород полосчатого дунит-верлит-клинопироксенит-габбрового комплекса, а также шпинелей из включений в алмазах, а также аксессуарные и рудообразующие хромовые шпинели Кемпирсайского массива (рис. 117). Близость составов последних к шпинелям из включений в алмазах указывает, с

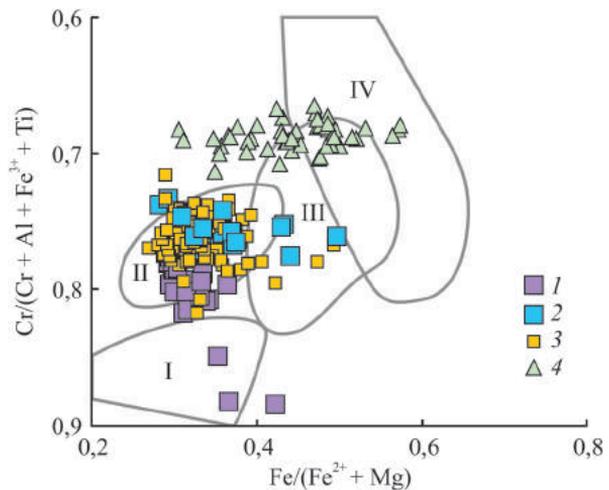


Рис. 117. Диаграмма $Fe^{2+}/(Fe^{2+} + Mg) - Cr/(Cr + Al + Fe^{3+} + Ti)$ в рудообразующих и аксессуарных шпинелях.

Условные обозначения – см. рис. 115. Поля составов по (Маракушев, Панях и др., 2004): I – включения шпинели в алмазах; II – рудообразующие шпинели Кемпирсайского массива, локализованные в дунитовых телах; III – аксессуарные шпинели дунитов хромитоносных дунитовых тел; IV – аксессуарные шпинели дунитов дунит-гарцбургитового комплекса

точки зрения авторов, на глубинный, высокобарический генезис оруденения Кемпирсайского массива. С увеличением давления и температуры образования шпинелей возрастает их хромистость и магниальность (Маракушев и др, 2004). Рудообразующие шпинели из хромититов Южного участка месторождения Центральное показывают в этих координатах два тренда, которые характеризуют одновременное увеличение количества хрома и железистости минерала. Исследованные шпинелиды первой и, частично, второй групп попадают в поле рудообразующих шпинелей Кемпирсайского массива (см. рис. 117). Наиболее хромистые шпинели второй группы частично соответствуют таковым из включений шпинели в алмазах. Шпинели из хромититов рудопроявления Енгайское-1 близки по составам к аксессуарным шпинелям из хромитоносных дунитов и дунитов дунит-гарцбургитового комплекса Кемпирсайского массива. Соответственно, можно предположить, что высокохромистые хромититы месторождения Центральное, равно как и руды Кемпирсайского массива, образовались при высоких давлениях, в поле устойчивости алмаза. Находки алмаза в хромититах месторождения Центральное массива Рай-Из описаны в последние годы в работах китайских и других исследователей (Yang et al., 2007, 2015; Liou et al., 2014; Robinson et al., 2015; Xu et al., 2017).

Оливины, ассоциирующие с рудообразующими хромовыми шпинелями первой и второй групп, различаются железистостью (рис. 118). В парагенезисе с наиболее хромистыми шпинелями (2-й группы) находятся наименее железистые оливины ($Fa = 2-3\%$), а со шпинелями первой группы (менее хромистыми) ассоциирует оливин с $Fa = 2,8-4,2\%$.

Железистости оливина и шпинели, как в рудовмещающих метаморфизованных ультрамафитах, так и в хромититах прямо пропорциональны (см. рис. 118). Фигуративные точки состава минералов располагаются вдоль двух линий с различными углами наклона: линия с большим углом соответствует метасульфидитам и хромититам месторождения Центральное, с меньшим –

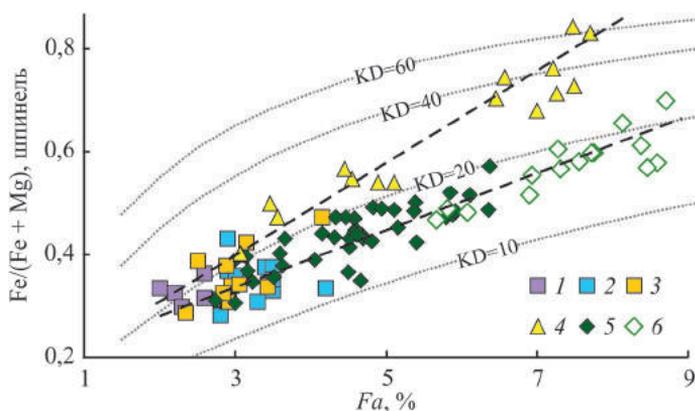


Рис. 118. Диаграмма зависимости железистость оливина – железистость шпинели.

1, 2 – рудообразующие шпинели и оливины из хромититов Южного участка месторождения Центральное: 1 – с содержанием в шпинели $Cr_2O_3 > 60$ мас. %, 2 – $Cr_2O_3 < 60$ мас. %; 3 – рудообразующие шпинели и оливины из хромититов Северного участка месторождения Центральное; 4 – аксессуарные шпинели и оливины из рудовмещающих ультрамафитов месторождения Центральное; 5 – рудообразующие шпинели и оливины из хромититов рудопроявления Енгайское-1; 6 – аксессуарные шпинели и оливины рудовмещающих ультрамафитов рудопроявления Енгайское-1

рудопроявления Енгайское-1. На каждом из изученных объектов железистости минералов монотонно возрастают от хромититов к вмещающим их метасульфидитам, образуя единые линейные последовательности, что свидетельствует о существовании равновесия в системе порода-руда.

Ирвайном (Irvine, 1967) было установлено, что коэффициент распределения железа и магния между оливином и шпинелью зависит от двух основных факторов: температуры и соотношения трехвалентных катионов (Al, Cr, Fe³⁺) в структуре шпинели. На основе этих данных в работе П. Редера (Roeder et al., 1979) сделана сводка о вариациях коэффициента распределения магния и железа между оливином и конечными членами шпинелевого ряда (с различными R³⁺ в октаэдрах) – KD_{Ol-Sp} ¹. Из приведенной в статье диаграммы следует, что при данной температуре $\ln KD_{Ol-Sp}$ в два раза ниже в системе с глиноземистой шпинелью, чем с хромистой или железистой.

Увеличение железистости оливина и шпинели в метасульфидитах и хромититах месторождения Центральное сопровождается ростом KD_{Ol-Sp} от 20 ед. в хромититах, до 60 ед. в рудовмещающих метасульфидитах (см. рис. 118). KD_{Ol-Sp} для минеральных пар из сульфидитов и хромититов рудопроявления Енгайское-1 находится на уровне 20 ед. Этот факт может быть объяснен тем, что на месторождении Центральное, в отличие от рудопроявления Енгайское-1, с увеличением железистости шпинели возрастают доли Fe³⁺ и Cr в ее октаэдрической позиции, что согласно работе (Roeder et al., 1979) приводит к увеличению KD_{Ol-Sp} . Кроме того, оно может быть связано с различием *P-T* условий образования оливин-шпинелевых парагенезисов изученных объектов (см. главу 6). Наименьшее отклонение от тренда имеют высокохромистые хромититы Южного участка месторождения Центральное. Наиболее глиноземистые разности хромовой шпинели перекрываются с составами минерала Енгайского рудопроявления.

Зональность аксессуарных и рудообразующих шпинелей и оливинов

Зональность рудообразующих хромовых шпинелей месторождения Центральное была изучена в образцах, отобранных из рудного тела № 9, сложенных рудообразующими шпинелями первой и второй групп по содержанию Cr₂O₃ (Ширяев, Вахрушева, 2016; Shiryaev, Vakhrusheva, 2017).

Содержание фаялитовой молекулы (*Fa*, железистость $f = Fe \cdot 100 / (Fe + Mg)$) в зерне оливина из образца густовкрапленного хромитита РШ-81 изменяется от 2,9% в центре зерна до 2,1% в краях. В зернах шпинели наблюдается обратная картина – железистость минерала увеличивается к краю зерна, достигая 36–39%, тогда как в центрах зерен ее значение близко к 32% (рис. 119). Подобная зональность минералов возникает в процессе ионного обмена Mg и Fe между оливином и шпинелью при понижении температуры (Lehman, 1983; Ozawa, 1984). По нашим наблюдениям к краям зерен в минералах повышается количество Cr₂O₃ – в оливине на контакте минералов Cr₂O₃ находится в пределах 0,2–0,3 мас. %. В центрах зерен хромовой шпинели содержится около 59 мас. % Cr₂O₃, в краях – 61 мас. %. Количество компонента в

¹Здесь и далее по тексту $KD_{Ol-Sp} = (X_{Mg}^{Ol} \times X_{Fe^{2+}}^{Sp}) / (X_{Fe}^{Ol} \times X_{Mg}^{Sp})$, где X_{Mg}^{Ol} , X_{Fe}^{Ol} , X_{Mg}^{Sp} , $X_{Fe^{2+}}^{Sp}$ – мольные доли железа (Fe/(Fe + Mg)) и магния (Mg/(Fe + Mg)) в оливине (*Ol*) и шпинели (*Sp*).

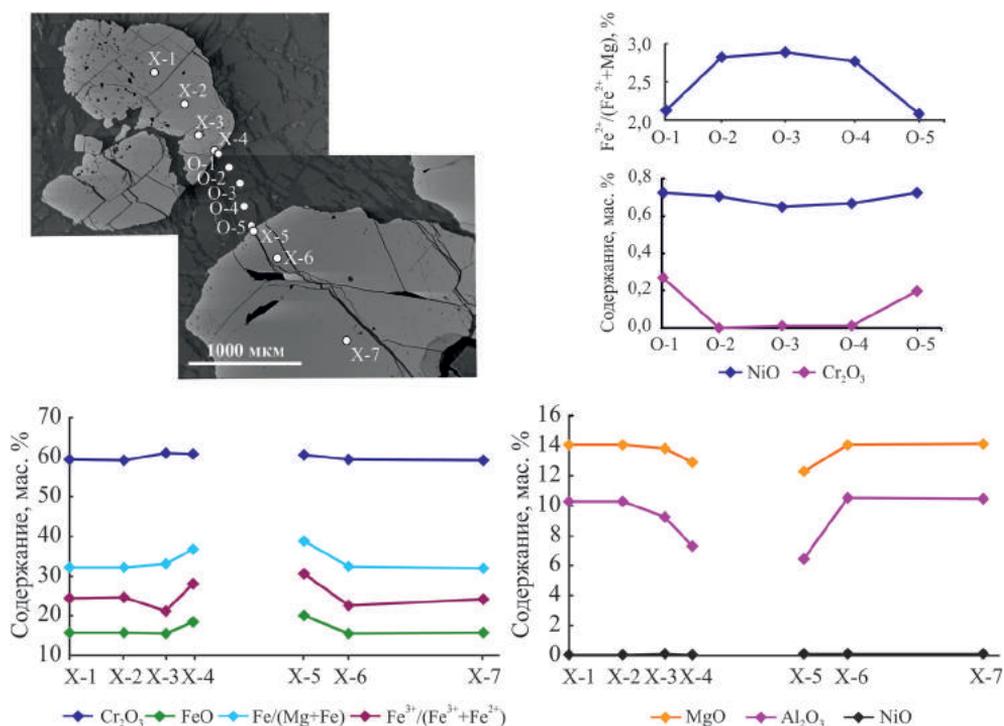


Рис. 119. Вариации содержаний компонентов по профилю через зерна хромовой шпинели и оливина из густовкрапленного хромитита, обр. РШ-81 (месторождение Центральное)

шпинели повышается достаточно резко и сопровождается увеличением степени окисления железа. При этом за 200 мкм до края зерна, наблюдается снижение степени окисления железа, сопровождаемое резким увеличением количества оксида хрома, а в краевой точке (расположенной в 5 мкм от края зерна) содержание последнего несколько снижается, степень окисления железа в шпинели, напротив, резко возрастает. Количество Al_2O_3 к краям зерен шпинели понижается постепенно, одновременно со снижением количества MgO (см. рис. 119).

Содержание оксида никеля в хромовой шпинели постепенно повышается к краям зерен с 0,08 до 0,11–0,12 мас. % и резко снижается до 0,02% на контакте с зерном оливина (табл. 22). В зернах оливина наблюдается некоторое увеличение NiO от центра к краевой части зерна (с 0,65 до 0,72 мас. %; табл. 23).

Помимо рассмотренных выше, в образце были изучены еще несколько зерен шпинели и оливина. В них наблюдается аналогичная зональность.

Содержания компонентов в минералах из густовкрапленного хромитита обр. РШ-70 (рис. 120, табл. 24) изменяются в пределах зерен так же, как и в РШ-81. Основным отличием является большее количество Cr_2O_3 в шпинели РШ-70 (около 61,8 мас. % в центре зерна и 62,3% в краевой части), более низкие железистость минерала и степень окисления железа, а также содержание Al_2O_3 . Центральные части зерен оливинов из обр. РШ-70 чуть более железисты, чем из обр. РШ-81 (табл. 25).

Таблица 22

Химический состав рудообразующих (обр. РШ-81) и аксессуарных (обр. РШ-45, 48) хромовых шпинелей (мас. %) из хромитита и рудовмещающих метаультрамафитов месторождения Центральное

| № обр. | РШ-45 | | | | | РШ-48 | | РШ-81 | | | | | | |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|--------|-------|--------|-------|
| | Х-1 | Х-2 | Х-3 | Х-4 | Х-5 | Х-1 | Х-2 | Х-1 | Х-2 | Х-3 | Х-4 | Х-5 | Х-6 | Х-7 |
| TiO ₂ | 0,07 | 0,07 | 0,07 | 0,07 | 0,03 | 0,09 | 0,14 | 0,12 | 0,13 | 0,10 | 0,14 | 0,15 | 0,10 | 0,12 |
| Cr ₂ O ₃ | 34,30 | 31,48 | 33,14 | 33,42 | 40,89 | 48,21 | 34,72 | 59,49 | 59,10 | 61,25 | 60,76 | 60,13 | 59,43 | 58,99 |
| Al ₂ O ₃ | 1,11 | 0,96 | 0,96 | 1,01 | 1,16 | 1,48 | 1,15 | 10,29 | 10,22 | 9,30 | 7,28 | 6,38 | 10,54 | 10,43 |
| FeO | 54,61 | 57,88 | 57,49 | 56,29 | 49,11 | 43,17 | 55,69 | 15,86 | 15,68 | 15,56 | 18,58 | 19,98 | 15,52 | 15,63 |
| MgO | 4,10 | 3,79 | 3,84 | 3,83 | 4,16 | 3,91 | 3,30 | 14,10 | 14,02 | 13,86 | 12,88 | 12,24 | 14,06 | 14,07 |
| MnO | 0,29 | 0,27 | 0,24 | 0,37 | 0,52 | 0,52 | 0,37 | 0,14 | 0,19 | 0,16 | 0,18 | 0,21 | 0,16 | 0,15 |
| NiO | 0,64 | 0,77 | 0,65 | 0,78 | 0,42 | 0,34 | 0,67 | 0,08 | 0,09 | 0,11 | 0,08 | 0,11 | 0,12 | 0,11 |
| V ₂ O ₃ | 0,14 | 0,14 | 0,17 | 0,14 | 0,12 | 0,22 | 0,25 | 0,09 | 0,11 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,08 | 0,08 |
| ZnO | 0,13 | 0,10 | 0,14 | 0,09 | 0,22 | 0,11 | 0,25 | 0,03 | 0,06 | 0,01 | 0,02 | 0,04 | 0,00 | 0,04 |
| CoO | 0,02 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,04 | 0,00 | 0,00 | 0,03 | 0,04 | 0,01 | 0,00 | 0,03 | 0,01 | 0,02 |
| Сумма | 95,41 | 95,46 | 96,70 | 96,00 | 96,67 | 98,05 | 96,56 | 100,23 | 99,64 | 100,46 | 100,02 | 99,37 | 100,02 | 99,64 |
| Формульные коэффициенты в расчете на 3 катиона | | | | | | | | | | | | | | |
| Cr | 1,00 | 0,92 | 0,96 | 0,97 | 1,18 | 1,38 | 1,01 | 1,50 | 1,50 | 1,55 | 1,57 | 1,58 | 1,50 | 1,50 |
| Al | 0,05 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,05 | 0,06 | 0,05 | 0,39 | 0,39 | 0,35 | 0,28 | 0,25 | 0,40 | 0,39 |
| V | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Fe | 1,69 | 1,79 | 1,76 | 1,73 | 1,50 | 1,31 | 1,71 | 0,42 | 0,42 | 0,42 | 0,51 | 0,55 | 0,42 | 0,42 |
| Mg | 0,23 | 0,21 | 0,21 | 0,21 | 0,23 | 0,21 | 0,18 | 0,67 | 0,67 | 0,66 | 0,63 | 0,60 | 0,67 | 0,67 |
| Ni | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Mn | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,01 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 |
| Zn | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Fe ³⁺ | 0,94 | 1,03 | 0,99 | 0,98 | 0,76 | 0,55 | 0,93 | 0,10 | 0,10 | 0,09 | 0,14 | 0,17 | 0,09 | 0,10 |
| Fe ²⁺ | 0,74 | 0,76 | 0,76 | 0,75 | 0,74 | 0,76 | 0,78 | 0,32 | 0,32 | 0,33 | 0,36 | 0,38 | 0,32 | 0,32 |
| XFe ²⁺ _{sp} | 76,7 | 78,4 | 78,4 | 78,2 | 76,5 | 78,3 | 81,2 | 32,3 | 32,1 | 33,2 | 36,8 | 38,9 | 32,4 | 32,1 |
| XCr _{sp} | 95,4 | 95,7 | 95,9 | 95,7 | 95,9 | 95,6 | 95,3 | 79,5 | 79,5 | 81,5 | 84,8 | 86,3 | 79,1 | 79,1 |
| #Fe | 56,0 | 57,7 | 56,7 | 56,5 | 50,9 | 41,9 | 54,4 | 24,4 | 24,6 | 21,2 | 28,2 | 30,5 | 22,6 | 24,3 |

Примечание. XFe²⁺_{sp} = Fe²⁺ × 100/(Fe²⁺ + Mg); XCr_{sp} = Cr × 100/(Cr + Al); #Fe = Fe³⁺ × 100/(Fe³⁺ + Fe²⁺).

Таблица 23

Химический состав оливинов (мас. %) из метаультрамафитов (обр. РШ-45, 48) и хромитита (обр. РШ-81) месторождения Центральное

| № обр. | РШ-45 | | | | | РШ-48 | | | РШ-81 | | | | |
|--------------------------------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | О-1 | О-2 | О-3 | О-4 | О-5 | О-1 | О-2 | О-3 | О-1 | О-2 | О-3 | О-4 | О-5 |
| SiO ₂ | 41,03 | 41,60 | 40,86 | 40,55 | 40,89 | 40,63 | 40,53 | 40,43 | 43,22 | 43,05 | 43,19 | 43,00 | 43,47 |
| MgO | 50,91 | 50,74 | 50,96 | 50,78 | 52,58 | 50,26 | 50,79 | 50,87 | 54,53 | 53,86 | 53,60 | 53,79 | 54,43 |
| CaO | 0,02 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Cr ₂ O ₃ | 0,02 | 0,00 | 0,08 | 0,24 | 0,57 | 0,00 | 0,04 | 0,16 | 0,27 | 0,00 | 0,01 | 0,01 | 0,20 |
| FeO | 7,05 | 7,15 | 6,86 | 6,61 | 6,18 | 7,60 | 7,63 | 7,65 | 2,11 | 2,79 | 2,84 | 2,73 | 2,06 |
| MnO | 0,04 | 0,11 | 0,15 | 0,06 | 0,07 | 0,08 | 0,11 | 0,15 | 0,03 | 0,05 | 0,04 | 0,03 | 0,03 |
| NiO | 0,43 | 0,50 | 0,28 | 0,31 | 0,31 | 0,41 | 0,44 | 0,44 | 0,73 | 0,71 | 0,65 | 0,67 | 0,73 |
| Al ₂ O ₃ | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,01 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,00 |
| TiO ₂ | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,02 | 0,00 | 0,01 |
| CoO | 0,08 | 0,07 | 0,10 | 0,00 | 0,07 | 0,04 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Сумма | 99,58 | 100,19 | 99,29 | 98,56 | 100,69 | 99,02 | 99,56 | 99,71 | 100,89 | 100,47 | 100,36 | 100,24 | 100,93 |

Окончание табл. 23

| № обр. | РШ-45 | | | | | РШ-48 | | | РШ-81 | | | | | |
|--|---------|------|------|------|------|-------|------|------|-------|------|------|------|------|------|
| | № точки | O-1 | O-2 | O-3 | O-4 | O-5 | O-1 | O-2 | O-3 | O-1 | O-2 | O-3 | O-4 | O-5 |
| Формульные коэффициенты в расчете на 3 катиона | | | | | | | | | | | | | | |
| Si | 1,00 | 1,01 | 1,00 | 1,00 | 0,98 | 1,00 | 0,99 | 0,99 | 1,01 | 1,02 | 1,02 | 1,02 | 1,02 | 1,02 |
| Mg | 1,85 | 1,83 | 1,85 | 1,86 | 1,88 | 1,84 | 1,85 | 1,85 | 1,91 | 1,90 | 1,89 | 1,90 | 1,90 | 1,90 |
| Ca | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Cr | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Fe | 0,14 | 0,14 | 0,14 | 0,14 | 0,12 | 0,16 | 0,16 | 0,16 | 0,04 | 0,06 | 0,06 | 0,05 | 0,04 | 0,04 |
| Mn | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Ni | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| Al | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Ti | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Co | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Fa, % | 7,21 | 7,33 | 7,02 | 6,81 | 6,19 | 7,82 | 7,77 | 7,78 | 2,12 | 2,82 | 2,89 | 2,77 | 2,08 | 2,08 |

Примечание. Fa = Fe × 100/(Fe + Mg).

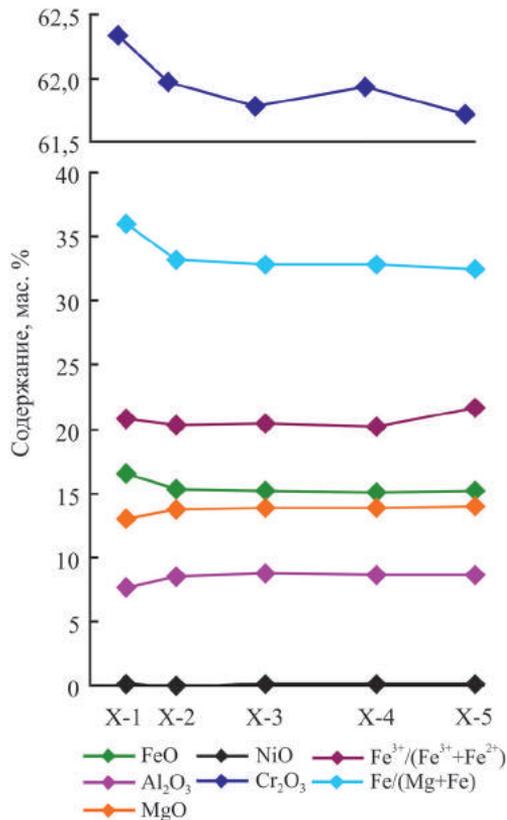
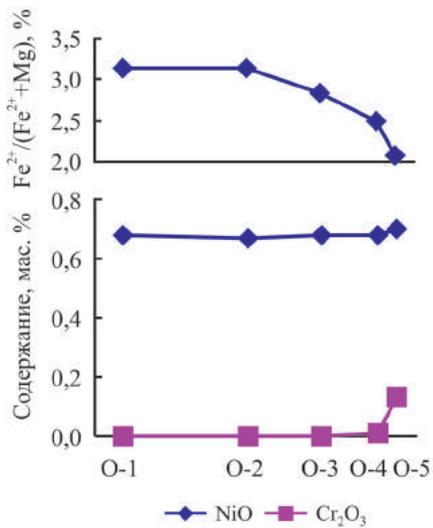
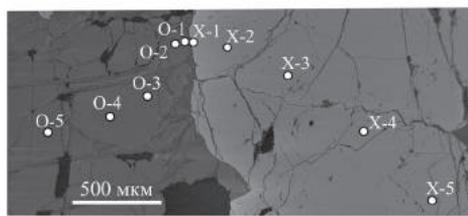


Рис. 120. Вариации содержаний компонентов по профилю через зерна хромовой шпинели и оливина из густовкрапленного хромитита, обр. РШ-70 (месторождение Центральное)

Таблица 24

Химический состав (мас. %) рудообразующей хромовой шпинели из хромитита месторождения Центральное (обр. РШ-70)

| № точки | X-1 | X-2 | X-3 | X-4 | X-5 |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|
| TiO ₂ | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,09 |
| Cr ₂ O ₃ | 61,34 | 61,54 | 61,52 | 61,47 | 61,16 |
| Al ₂ O ₃ | 7,51 | 8,47 | 8,71 | 8,61 | 8,61 |
| FeO | 16,26 | 15,20 | 15,08 | 14,97 | 15,06 |
| MgO | 12,85 | 13,67 | 13,80 | 13,75 | 13,80 |
| MnO | 0,16 | 0,13 | 0,12 | 0,11 | 0,20 |
| NiO | 0,08 | 0,06 | 0,07 | 0,13 | 0,07 |
| V ₂ O ₃ | 0,07 | 0,10 | 0,10 | 0,09 | 0,09 |
| ZnO | 0,00 | 0,00 | 0,08 | 0,01 | 0,01 |
| CoO | 0,04 | 0,04 | 0,00 | 0,02 | 0,02 |
| Сумма | 98,41 | 99,31 | 99,58 | 99,26 | 99,11 |
| Формульные коэффициенты в расчете на 3 катиона | | | | | |
| Ti | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Cr | 1,61 | 1,59 | 1,58 | 1,58 | 1,58 |
| Al | 0,29 | 0,33 | 0,33 | 0,33 | 0,33 |
| V | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Fe | 0,45 | 0,41 | 0,41 | 0,41 | 0,41 |
| Mg | 0,64 | 0,66 | 0,67 | 0,67 | 0,67 |
| Ni | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Mn | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 |
| Zn | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Co | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Fe ²⁺ | 0,36 | 0,33 | 0,33 | 0,33 | 0,32 |
| Fe ³⁺ | 0,09 | 0,08 | 0,08 | 0,08 | 0,09 |
| Cr # | 0,85 | 0,83 | 0,83 | 0,83 | 0,83 |
| Fe ³⁺ # | 0,21 | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 0,22 |
| f | 0,36 | 0,33 | 0,33 | 0,33 | 0,32 |

Таблица 25

Химический состав оливина (мас. %) из хромитита месторождения Центральное (обр. РШ-70)

| № обр. | O-1 | O-2 | O-3 | O-4 | O-5 |
|--|--------|--------|--------|-------|--------|
| SiO ₂ | 42,75 | 42,56 | 42,58 | 42,80 | 42,62 |
| MgO | 53,52 | 53,64 | 53,93 | 53,80 | 54,60 |
| CaO | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Cr ₂ O ₃ | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,13 |
| FeO | 3,09 | 3,10 | 2,81 | 2,46 | 2,07 |
| MnO | 0,05 | 0,03 | 0,05 | 0,03 | 0,06 |
| NiO | 0,68 | 0,67 | 0,68 | 0,68 | 0,70 |
| Al ₂ O ₃ | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 |
| TiO ₂ | 0,00 | 0,00 | 0,02 | 0,02 | 0,00 |
| Сумма | 100,09 | 100,00 | 100,07 | 99,80 | 100,19 |
| Формульные коэффициенты в расчете на 3 катиона | | | | | |
| Si | 1,02 | 1,01 | 1,01 | 1,02 | 1,01 |
| Mg | 1,89 | 1,90 | 1,91 | 1,90 | 1,92 |
| Ca | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Cr | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Fe | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,05 | 0,04 |
| Mn | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Ni | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| Al | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Ti | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Fa | 3,14 | 3,14 | 2,84 | 2,50 | 2,08 |

Из приведенных выше данных следует, что основное различие шпинелей двух групп, выделенных на Южном участке месторождения Центральное – содержание Cr_2O_3 , проявлено и на уровне отдельных зерен. Центры и края шпинелей первой группы менее хромистые, чем второй. Характер изменения содержания компонентов в пределах зерен минералов одинаков для шпинелей обеих групп. Следовательно, различное содержание Cr_2O_3 в шпинелях Южного участка связано не с процессом, приводящим к образованию в них зональности (пострудным регрессивным метаморфизмом), а собственно с рудогенезом. Как обсуждалось выше, увеличение хромистости шпинели указывает на повышение давления, при котором формировался минерал.

Зерна породообразующего оливина из энстатит-оливиновой породы (обр. РШ-45, рис. 121) также зональны: центральные части зерен содержат 7,3% Fa , а к краю ее количество снижается до 6,2%. В акцессорной шпинели наблюдается аналогичное распределение железистости – в центре зерна $f = 78,4\%$, а в краевой части – 76,5%. К краям зерен в обоих минералах увеличива-

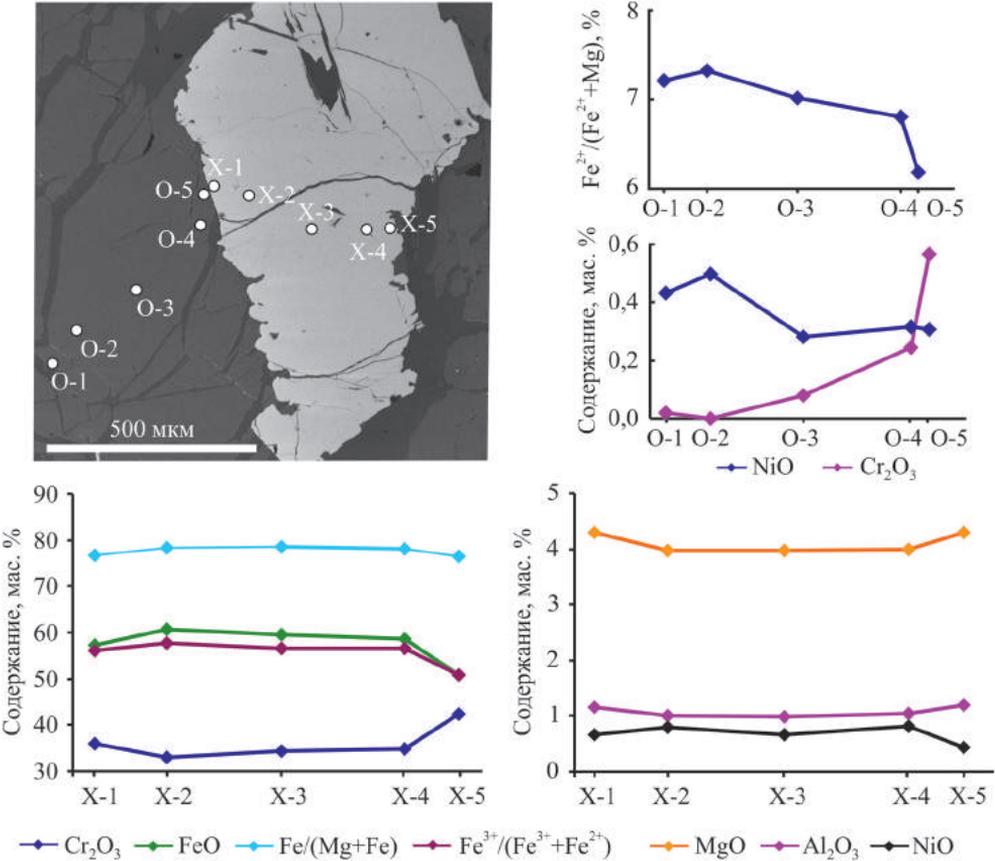


Рис. 121. Вариации содержаний химических элементов внутри зерна акцессорного шпинелида и контактирующего с ним оливина, обр. РШ-45 (месторождение Центральное)

ется содержание оксидов хрома и алюминия. Количество NiO в зернах акцессорной шпинели (0,43–0,81%) выше, чем в зернах породообразующего оливина (0,31–0,5%). Степень окисления железа в шпинели убывает к краю с 59 до 58,4% в одном и с 58 до 51% в другом зерне.

В оливинах из амфибол-энстатит-оливиновой породы (обр. РШ-48, рис. 122, см. табл. 23) также наблюдается понижение содержания фаялитовой молекулы к краю зерна. В зернах акцессорной шпинели железистость снижается к краю зерна с 79–81% до 75–78%. Процесс этот сопровождается ростом количества в обоих минералах Cr_2O_3 . В краях зерен оливина, контактирующих со шпинелью, содержание компонента достигает 0,16 мас. %. В хромовой шпинели количество Cr_2O_3 возрастает с 36–41 мас. % в центре зерна до 47–49 мас. % в краевых частях. Содержание Al_2O_3 в шпинели также увеличивается к краю. В обоих минералах фиксируется изменение содержания NiO к их контакту. В оливине содержание оксида никеля возрастает с 0,41 до 0,44 мас. %, а в шпинели убывает с 0,5–0,6 мас. % до 0,24–0,35 мас. % от центра к краю зерна. Степень окисления шпинели к краю зерна снижается с 50–54 до 40–41%.

Химическая зональность рудообразующих хромовых шпинелей и оливинов во вкрапленно-полосчатом хромитите рудопроявления Енгайское-1 была изучена в образце К-726-17, в котором представлен контакт полос редковкрапленной и убоговкрапленной руды (рис. 123). Как в зернах шпинели, так и в зернах оливина распределение компонентов не зависит от густоты вкрапленности руд. К краю зерна шпинели возрастает железистость и степень окисления железа, снижается количество Al_2O_3 , MgO и слабо – Cr_2O_3 . Содержание

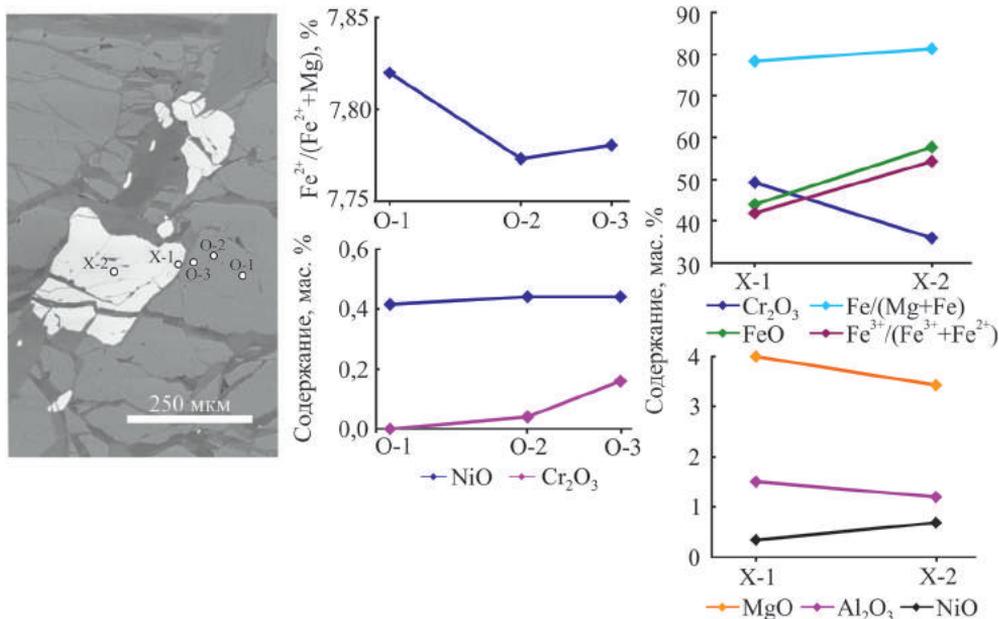


Рис. 122. Вариации содержаний химических элементов внутри зерна акцессорной шпинели и контактирующего с ней оливина, обр. РШ-48 (месторождение Центральное)

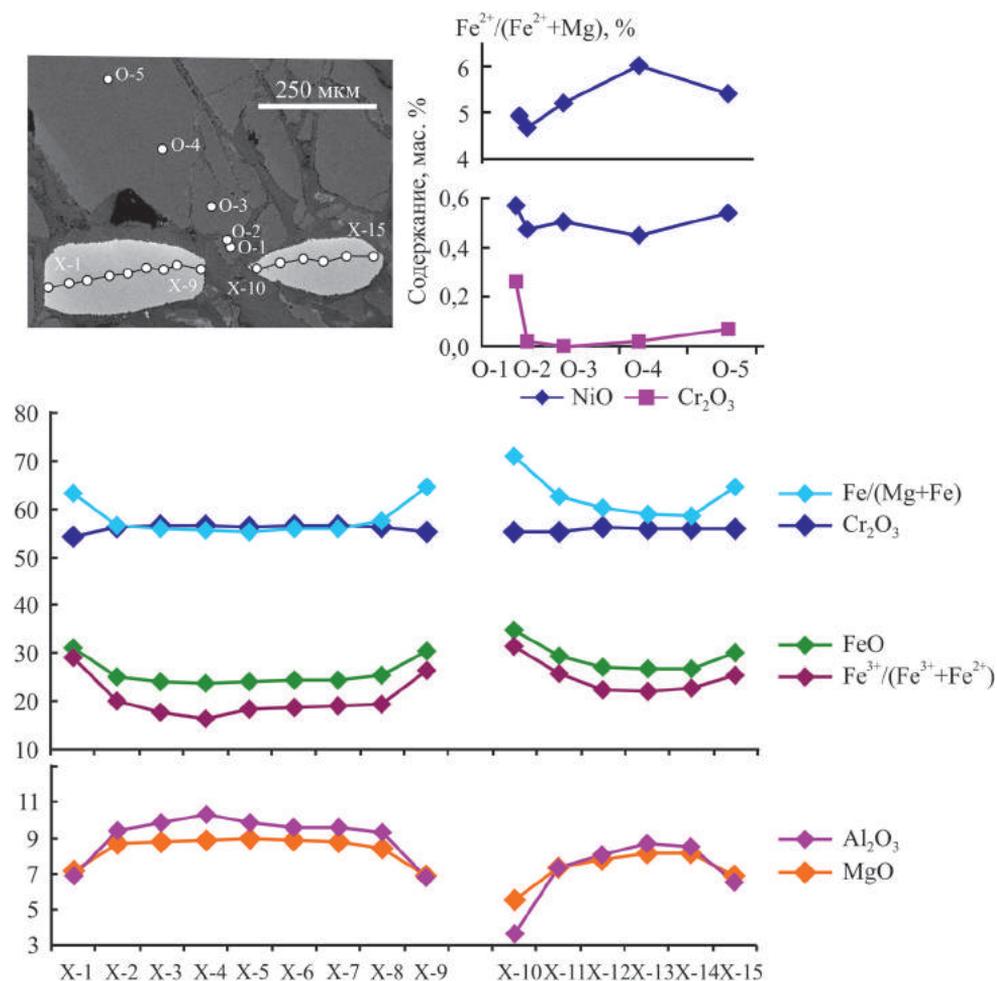


Рис. 123. Вариации содержаний химических элементов в зерне рудообразующей шпинели и контактирующего с ней оливина, обр. К-726-17 (рудопроявление Енгайское-1)

последнего компонента, по сравнению с остальными, практически постоянно (табл. 26, 27), как в пределах отдельных зерен, так и в образце в целом. Количество Cr₂O₃ одинаково в хромовых шпинелях из редковкрапленного и убоговкрапленного хромитита. Железистость рудообразующего минерала в убоговкрапленных рудах в среднем на 15%, а степень окисления железа на 5% выше, чем в густовкрапленных. Густовкрапленные же хромититы (рис. 124) отличаются более высоким содержанием Al₂O₃ в хромовых шпинелях. Железистость оливина из убоговкрапленной части образца на 2% выше, чем из редковкрапленной (табл. 28). Зерна шпинелида имеют одинаковую зональность как поперек, так и по удлинению.

Составы шпинели из убоговкрапленной и редковкрапленной частей не образуют общих непрерывных трендов (рис. 125). Различная железистость мине-

Таблица 26

Химический состав (мас. %) рудобразующей хромовой шпинели из убоговкрапленного хромитита (обр. К-726-17, рудопроявление Енгайское-1)

| № точки | X-1 | X-2 | X-3 | X-4 | X-5 | X-6 | X-7 | X-8 | X-9 | X-10 | X-11 | X-12 | X-13 | X-14 | X-15 |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| TiO ₂ | 0,16 | 0,21 | 0,12 | 0,16 | 0,22 | 0,17 | 0,13 | 0,19 | 0,19 | 0,24 | 0,25 | 0,15 | 0,22 | 0,23 | 0,21 |
| Cr ₂ O ₃ | 53,47 | 55,47 | 56,01 | 55,90 | 56,09 | 56,01 | 55,64 | 56,06 | 54,51 | 54,38 | 54,97 | 55,92 | 55,16 | 55,50 | 55,65 |
| Al ₂ O ₃ | 6,76 | 9,34 | 9,73 | 10,16 | 9,84 | 9,54 | 9,48 | 9,23 | 6,71 | 3,54 | 7,30 | 8,04 | 8,54 | 8,42 | 6,48 |
| FeO | 30,50 | 24,72 | 23,77 | 23,41 | 23,83 | 24,23 | 24,18 | 25,18 | 29,98 | 34,47 | 29,18 | 27,12 | 26,33 | 26,56 | 29,84 |
| MgO | 7,04 | 8,56 | 8,70 | 8,80 | 8,87 | 8,75 | 8,62 | 8,38 | 6,78 | 5,42 | 7,26 | 7,78 | 7,99 | 8,12 | 6,82 |
| MnO | 0,26 | 0,22 | 0,22 | 0,22 | 0,25 | 0,22 | 0,25 | 0,19 | 0,27 | 0,36 | 0,30 | 0,27 | 0,18 | 0,25 | 0,35 |
| NiO | 0,07 | 0,11 | 0,10 | 0,09 | 0,07 | 0,01 | 0,09 | 0,08 | 0,07 | 0,10 | 0,14 | 0,10 | 0,02 | 0,02 | 0,04 |
| V ₂ O ₃ | 0,13 | 0,10 | 0,08 | 0,14 | 0,13 | 0,12 | 0,11 | 0,12 | 0,13 | 0,14 | 0,13 | 0,15 | 0,06 | 0,11 | 0,12 |
| ZnO | 0,04 | 0,12 | 0,01 | 0,06 | 0,07 | 0,06 | 0,08 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,04 | 0,06 | 0,01 | 0,00 |
| CoO | 0,00 | 0,02 | 0,09 | 0,00 | 0,13 | 0,04 | 0,06 | 0,11 | 0,04 | 0,04 | 0,00 | 0,02 | 0,08 | 0,00 | 0,04 |
| Сумма | 98,42 | 98,87 | 98,84 | 98,95 | 99,53 | 99,17 | 98,67 | 99,55 | 98,69 | 98,70 | 99,55 | 99,61 | 98,64 | 99,23 | 99,57 |
| Формульные коэффициенты в расчете на 3 катиона | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ti | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,01 | 0,00 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| Cr | 1,46 | 1,48 | 1,49 | 1,48 | 1,48 | 1,49 | 1,49 | 1,49 | 1,49 | 1,52 | 1,48 | 1,50 | 1,49 | 1,49 | 1,51 |
| Al | 0,28 | 0,37 | 0,39 | 0,40 | 0,39 | 0,38 | 0,38 | 0,37 | 0,27 | 0,15 | 0,29 | 0,32 | 0,34 | 0,34 | 0,26 |
| V | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Fe | 0,88 | 0,70 | 0,67 | 0,66 | 0,67 | 0,68 | 0,68 | 0,71 | 0,87 | 1,02 | 0,83 | 0,77 | 0,75 | 0,75 | 0,86 |
| Mg | 0,36 | 0,43 | 0,44 | 0,44 | 0,44 | 0,44 | 0,43 | 0,42 | 0,35 | 0,29 | 0,37 | 0,39 | 0,41 | 0,41 | 0,35 |
| Ni | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Mn | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| Zn | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Co | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Fe ²⁺ | 0,63 | 0,56 | 0,55 | 0,55 | 0,54 | 0,55 | 0,55 | 0,57 | 0,64 | 0,70 | 0,62 | 0,60 | 0,58 | 0,58 | 0,64 |
| Fe ³⁺ | 0,26 | 0,14 | 0,12 | 0,11 | 0,12 | 0,13 | 0,13 | 0,14 | 0,23 | 0,32 | 0,21 | 0,17 | 0,16 | 0,17 | 0,22 |
| Cr# | 0,84 | 0,80 | 0,79 | 0,79 | 0,79 | 0,80 | 0,80 | 0,80 | 0,84 | 0,91 | 0,83 | 0,82 | 0,81 | 0,82 | 0,85 |
| Fe ³⁺ # | 28,94 | 20,19 | 17,57 | 16,33 | 18,29 | 18,75 | 19,08 | 19,44 | 26,26 | 31,44 | 25,71 | 22,55 | 21,98 | 22,56 | 25,48 |
| f | 0,63 | 0,56 | 0,56 | 0,56 | 0,55 | 0,56 | 0,56 | 0,58 | 0,65 | 0,71 | 0,63 | 0,60 | 0,59 | 0,59 | 0,65 |

Таблица 27

Химический состав (мас. %) рудообразующих хромовых шинелей из редковкрапленной руды (обр. К-726-17, рудопроявление Енгайское-1)

| № точки | X-1 | X-2 | X-3 | X-4 | X-5 | X-6 | X-7 | X-8 | X-9 | X-10 | X-11 | X-12 | X-13 | X-14 | X-15 |
|--|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|
| TiO ₂ | 0,17 | 0,08 | 0,18 | 0,13 | 0,18 | 0,27 | 0,14 | 0,21 | 0,24 | 0,29 | 0,17 | 0,17 | 0,2 | 0,2 | 0,3 |
| Cr ₂ O ₃ | 56,36 | 55,94 | 56,47 | 56,36 | 56,62 | 56,55 | 56,56 | 55,10 | 54,14 | 55,37 | 56,97 | 56,08 | 56,42 | 56,22 | 53,89 |
| Al ₂ O ₃ | 9,23 | 12,40 | 12,73 | 12,83 | 13,12 | 12,82 | 12,63 | 11,32 | 9,26 | 9,97 | 11,56 | 12,34 | 12,76 | 12,24 | 8,75 |
| FeO | 22,66 | 18,94 | 17,92 | 17,95 | 18,30 | 18,07 | 18,73 | 20,82 | 24,66 | 23,78 | 20,15 | 18,33 | 17,98 | 19,08 | 25,07 |
| MgO | 9,99 | 11,60 | 11,72 | 11,88 | 12,23 | 11,98 | 11,82 | 11,13 | 9,91 | 10,00 | 11,19 | 11,62 | 11,97 | 11,85 | 9,46 |
| MnO | 0,14 | 0,12 | 0,15 | 0,20 | 0,12 | 0,20 | 0,15 | 0,21 | 0,21 | 0,20 | 0,07 | 0,17 | 0,13 | 0,15 | 0,22 |
| NiO | 0,10 | 0,04 | 0,10 | 0,10 | 0,04 | 0,09 | 0,01 | 0,13 | 0,04 | 0,17 | 0,06 | 0,09 | 0,05 | 0,03 | 0,11 |
| V ₂ O ₃ | 0,09 | 0,10 | 0,10 | 0,12 | 0,07 | 0,11 | 0,11 | 0,15 | 0,17 | 0,13 | 0,09 | 0,14 | 0,13 | 0,11 | 0,09 |
| ZnO | 0,01 | 0,00 | 0,11 | 0,02 | 0,17 | 0,00 | 0,15 | 0,11 | 0,12 | 0,16 | 0,09 | 0,17 | 0,1 | 0,12 | 0,08 |
| CoO | 0,05 | 0,00 | 0,01 | 0,07 | 0,00 | 0,00 | 0,09 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,02 | 0,00 | 0,07 | 0,02 | 0,03 |
| Сумма | 98,82 | 99,23 | 99,52 | 99,67 | 100,87 | 100,16 | 100,40 | 99,25 | 98,77 | 100,10 | 100,42 | 99,13 | 99,82 | 100,1 | 98,01 |
| Формульные коэффициенты в расчете на 3 катиона | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ti | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,005 | 0,005 | 0,008 |
| Cr | 1,49 | 1,44 | 1,45 | 1,44 | 1,43 | 1,44 | 1,44 | 1,43 | 1,43 | 1,44 | 1,46 | 1,44 | 1,438 | 1,434 | 1,442 |
| Al | 0,36 | 0,48 | 0,49 | 0,49 | 0,49 | 0,49 | 0,48 | 0,44 | 0,37 | 0,39 | 0,44 | 0,47 | 0,485 | 0,466 | 0,349 |
| V | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,003 | 0,003 | 0,002 |
| Fe | 0,63 | 0,52 | 0,49 | 0,48 | 0,49 | 0,49 | 0,50 | 0,57 | 0,69 | 0,66 | 0,55 | 0,50 | 0,485 | 0,515 | 0,710 |
| Mg | 0,50 | 0,56 | 0,57 | 0,57 | 0,58 | 0,57 | 0,57 | 0,54 | 0,49 | 0,49 | 0,54 | 0,56 | 0,575 | 0,570 | 0,477 |
| Ni | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,001 | 0,001 | 0,003 |
| Mn | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,004 | 0,004 | 0,006 |
| Zn | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,002 | 0,003 | 0,002 |
| Co | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,002 | 0,001 | 0,001 |
| Fe ²⁺ | 0,49 | 0,43 | 0,42 | 0,42 | 0,41 | 0,42 | 0,42 | 0,44 | 0,50 | 0,49 | 0,45 | 0,42 | 0,069 | 0,093 | 0,199 |
| Fe ³⁺ | 0,14 | 0,08 | 0,06 | 0,07 | 0,08 | 0,07 | 0,08 | 0,13 | 0,19 | 0,16 | 0,09 | 0,07 | 0,416 | 0,422 | 0,511 |
| Cr# | 0,80 | 0,75 | 0,75 | 0,75 | 0,74 | 0,75 | 0,75 | 0,77 | 0,80 | 0,79 | 0,77 | 0,75 | 0,75 | 0,75 | 0,81 |
| Fe ³⁺ # | 0,22 | 0,16 | 0,13 | 0,14 | 0,16 | 0,14 | 0,16 | 0,22 | 0,28 | 0,24 | 0,17 | 0,15 | 0,142 | 0,18 | 0,28 |
| f | 0,50 | 0,44 | 0,43 | 0,42 | 0,41 | 0,42 | 0,43 | 0,45 | 0,50 | 0,50 | 0,46 | 0,43 | 0,42 | 0,43 | 0,52 |

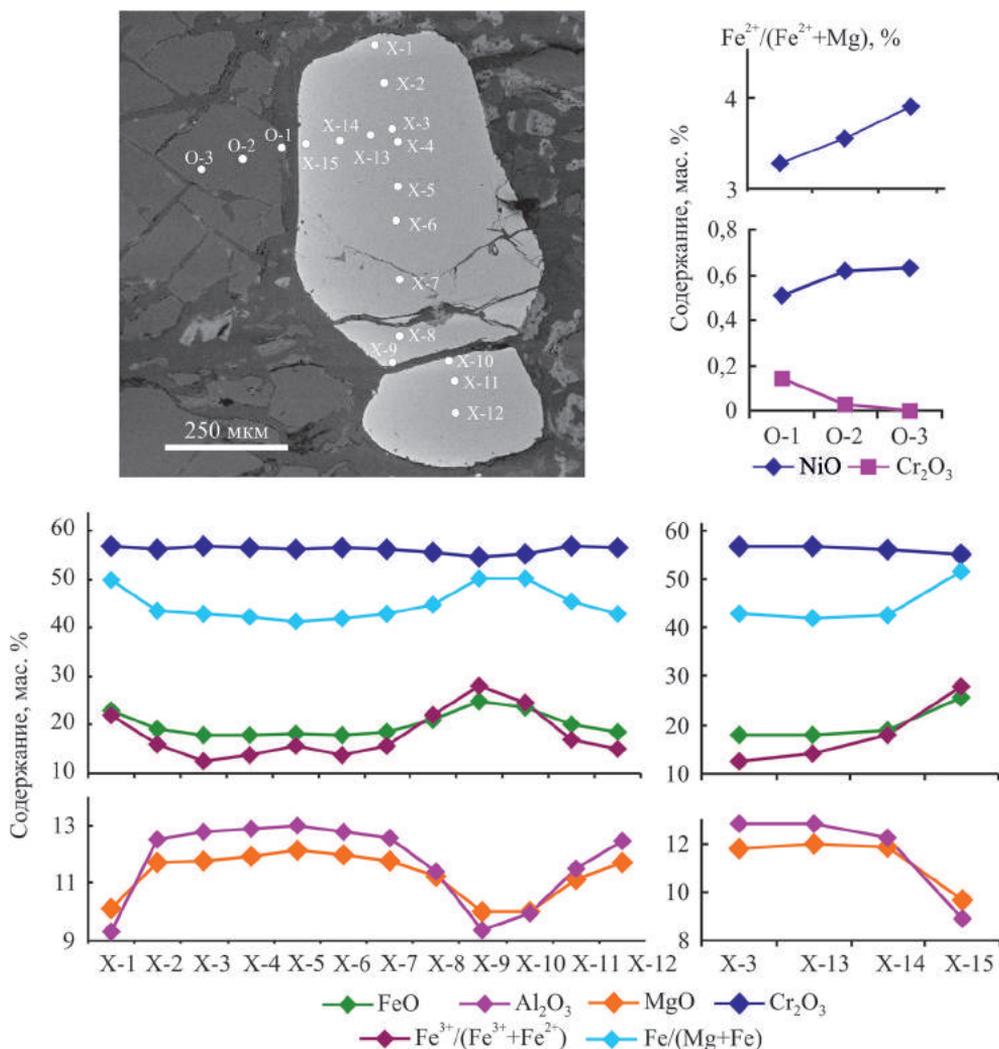


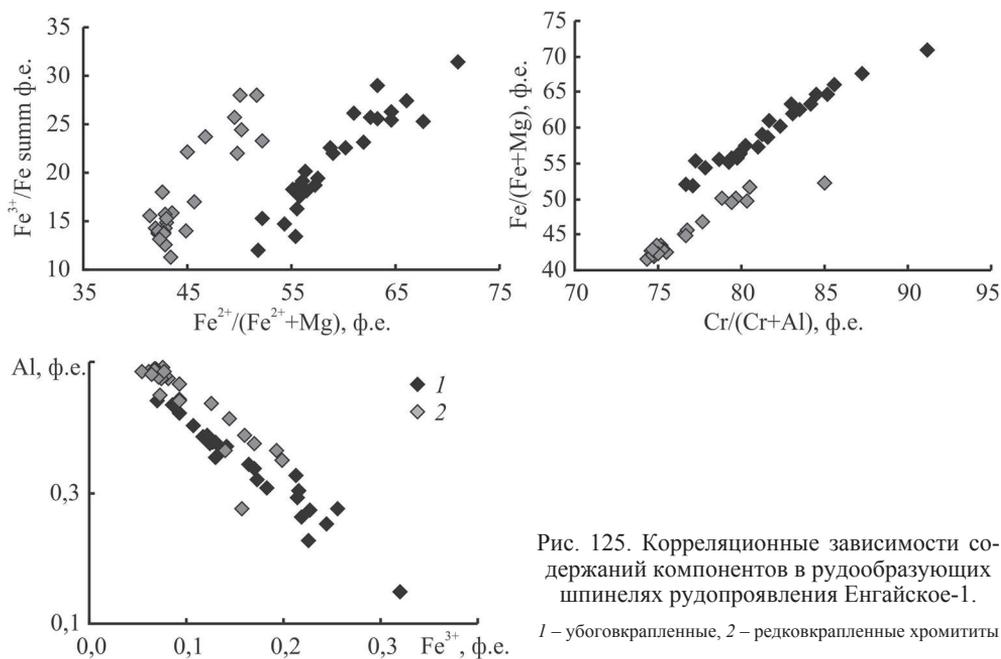
Рис. 124. Вариации содержаний химических элементов в зерне рудообразующей шпинели и контактирующего с ней оливина, обр. К-726-17 (рудопроявление Енгайское-1)

рала в рудах с разным содержанием шпинели связана не с вторичными процессами, в результате которых хромититы, отличающиеся соотношением минералов, изменялись в различной степени, а является первичной. В свою очередь, вариация количества трехвалентных катионов обусловлена именно наложенными процессами, поскольку увеличение содержания трехвалентного железа, сопровождаемое обеднением минерала катионами алюминия, происходит постепенно (см. рис. 125). Анализы шпинели из хромититов с разной густотой вкрапленности образуют единый тренд. Обрато пропорциональны, однако с высокой дисперсией ($KK = 0,3$), содержания Cr и Al, а между количествами катионов Cr и Fe³⁺ зависимость отсутствует.

Таблица 28

Химический состав (мас. %) оливинов из убоговкрапленного и редковкрапленного хромитита (обр. К-726-17, рудопроявление Енгайское-1)

| № точки | Убоговкрапленный хромитит | | | | | Редковкрапленный хромитит | | |
|--|---------------------------|-------|-------|--------|--------|---------------------------|-------|-------|
| | O-1 | O-2 | O-3 | O-4 | O-5 | O-1 | O-2 | O-3 |
| SiO ₂ | 40,22 | 40,53 | 41,09 | 40,57 | 42,20 | 41,67 | 41,36 | 41,99 |
| MgO | 53,82 | 53,35 | 52,64 | 53,20 | 52,06 | 54,01 | 53,18 | 52,66 |
| CaO | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,03 | 0,00 | 0,00 |
| Cr ₂ O ₃ | 0,26 | 0,02 | 0,00 | 0,02 | 0,07 | 0,14 | 0,03 | 0,00 |
| FeO | 4,97 | 4,65 | 5,14 | 6,06 | 5,31 | 3,53 | 3,97 | 4,55 |
| MnO | 0,06 | 0,09 | 0,09 | 0,08 | 0,09 | 0,06 | 0,09 | 0,07 |
| NiO | 0,57 | 0,47 | 0,50 | 0,45 | 0,54 | 0,51 | 0,61 | 0,63 |
| Al ₂ O ₃ | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Na ₂ O | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| TiO ₂ | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,02 | 0,05 | 0,00 | 0,00 |
| CoO | 0,04 | 0,03 | 0,00 | 0,01 | 0,02 | 0,00 | 0,01 | 0,00 |
| Сумма | 99,95 | 99,16 | 99,46 | 100,40 | 100,32 | 100,01 | 99,34 | 99,95 |
| Формульные коэффициенты в расчете на 3 катиона | | | | | | | | |
| Si | 0,96 | 0,98 | 0,99 | 0,97 | 1,01 | 0,99 | 1,00 | 1,01 |
| Mg | 1,92 | 1,92 | 1,89 | 1,90 | 1,87 | 1,92 | 1,91 | 1,89 |
| Ca | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Cr | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Fe | 0,10 | 0,09 | 0,10 | 0,12 | 0,11 | 0,07 | 0,08 | 0,09 |
| Mn | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Ni | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| Al | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Na | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Fa | 4,93 | 4,66 | 5,19 | 6,01 | 5,41 | 3,54 | 4,02 | 4,62 |



Шпинель из включения, размером 200 мкм в тремолите имеет состав, близкий к краевой части зерен из убоговкрапленного хромитита (рис. 126, табл. 29). Отсюда можно сделать вывод, что образование зональности шпинели по содержанию трехвалентных катионов связано с процессом диафореза, в ходе которого происходит образование тремолита. Тремолит мог развиваться по паргаситу, который установлен микрозондовым анализом в виде вклю-

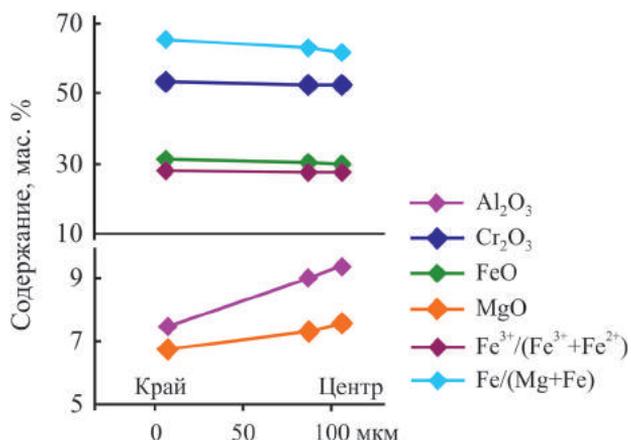


Рис. 126. Вариации содержаний химических элементов внутри включения хромовой шпинели в зерне тремолита, обр. К-726-17 (рудопроявление Енгайское-1)

Таблица 29

Химический состав (мас. %) включения хромовой шпинели в зерне амфибола (обр. К-726-17, рудопроявление Енгайское-1)

| № точки | 1 | 2 | 3 |
|--|-------|-------|--------|
| TiO ₂ | 0,24 | 0,16 | 0,11 |
| Cr ₂ O ₃ | 52,68 | 51,91 | 52,41 |
| Al ₂ O ₃ | 7,36 | 8,92 | 9,39 |
| FeO | 30,88 | 29,96 | 29,89 |
| MgO | 6,64 | 7,22 | 7,56 |
| MnO | 0,33 | 0,24 | 0,25 |
| NiO | 0,09 | 0,12 | 0,10 |
| V ₂ O ₃ | 0,23 | 0,20 | 0,17 |
| ZnO | 0,03 | 0,00 | 0,07 |
| CoO | 0,06 | 0,11 | 0,05 |
| Сумма | 98,59 | 98,86 | 100,05 |
| Формульные коэффициенты в расчете на 3 катиона | | | |
| Ti | 0,01 | 0,00 | 0,00 |
| Cr | 1,44 | 1,40 | 1,39 |
| Al | 0,30 | 0,36 | 0,37 |
| V | 0,01 | 0,01 | 0,00 |
| Fe | 0,89 | 0,85 | 0,84 |
| Mg | 0,34 | 0,37 | 0,38 |
| Ni | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Mn | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| Zn | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Co | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Fe ²⁺ | 0,25 | 0,23 | 0,23 |
| Fe ³⁺ | 0,64 | 0,62 | 0,61 |
| Cr# | 0,83 | 0,80 | 0,79 |
| Fe ³⁺ # | 0,28 | 0,27 | 0,27 |
| f | 0,65 | 0,63 | 0,62 |

чений в зернах шпинели из редковкрапленного хромитита. Наличие в шпинелях включений паргасита указывает на формирование хромититов при метаморфизме.

Вариации состава хромовых шпинелей и оливинов в пределах рудных тел

Изменение состава рудообразующих хромовых шпинелей и оливинов внутри рудных тел было изучено на примере рудных тел № 9, № 48/1 и № 10 месторождения Центральное и двух рудных пересечений рудопоявления Енгайское-1.

На рис. 127 показано распределение содержания химических компонентов в хромовых шпинелях и оливинах по разрезу через рудные тела № 48/1 и № 9 рудной залежи № 9, вскрытой в штольне на горизонте 480 метров (см. рис. 47, глава 5). Составы определялись в центрах зерен минерала. В рудном теле № 48/1 наблюдается повышение к контактам содержания FeO и V_2O_3 , а количество MgO, Al_2O_3 , MnO, NiO, в шпинели напротив, снижается. Содержание Cr_2O_3 в минерале варьирует по разрезу слабо, в пределах 59,0–60,5 мас. %.

В продольном разрезе через рудное тело № 9 содержания компонентов ведут себя иначе. Зона деформации (красный пунктир на рис. 127) делит рудное тело на два блока. К южному и северному контактам блоков возрастает содержание Al_2O_3 , NiO и убывает количество MnO, Cr_2O_3 . Содержание FeO и MgO в шпинели по разрезу выдержано и соответствует таковому во внутренней части рудного тела № 48/1. При этом во внутренней части рудного тела № 9 наблюдается более высокое содержание Cr_2O_3 и более низкое Al_2O_3 , чем в рудном теле № 48/1. Наибольшая железистость оливина ($Fa = 3,4\%$) установлена в средневкрапленных рудах рудного тела № 48/1, в густовкрапленных рудах ее значение составляет 2,2–3,5%.

Для рудообразующих хромовых шпинелей рудного тела № 10 (см. рис. 101, глава 6) характерно более низкое, по сравнению с составом минерала из рудного тела № 9, содержание Cr_2O_3 (58–61 мас. %). Наивысшее содержание компонента устанавливается в хромититах с густотой вкрапленности 85% и более, в центре южного блока тела № 10. Количество Cr_2O_3 в шпинели убывает к контактам рудных блоков с вмещающими дунитами. Одновременно снижается содержание Al_2O_3 и увеличивается степень окисления железа. Железистость $f = Fe^{2+}/(Fe^{2+} + Mg)$ шпинели и содержание MnO увеличивается к внутренним частям разделенных интратрудным дунитом рудных блоков. Содержание фаялитовой молекулы в оливине возрастает к центру северного блока рудного тела. В южном блоке Fa постепенно понижается от северного контакта рудного тела к контакту сплошных и средневкрапленных руд, где она скачкообразно увеличивается и далее по разрезу вновь понижается к южному контакту рудного тела.

Закономерности изменения по разрезу составов шпинели и оливина в хромититах рудопоявления Енгайское-1 выражены нечетко (см. рис. 102, 103, глава 6). Отмечается слабое понижение железистости оливина и шпинели в редковкрапленных хромититах, по сравнению с убоговкрапленными. Наиболее высокие содержания Cr_2O_3 (около 55–56 мас. %) устанавливаются в ред-

ковкрапленных хромититах с наивысшим в пределах изученных пересечений содержанием рудного минерала (30–31%). При этом в них не наблюдается обеднения глиноземом и увеличения степени окисления железа, которое происходит при позднем регрессивном метаморфизме. Как было показано выше, увеличение содержания Cr_2O_3 в шпинели отражает повышение давления. Соответственно, можно предположить, повышение локального динамического давления является одним из факторов увеличения вкрапленности рудообразующей шпинели в хромититах.

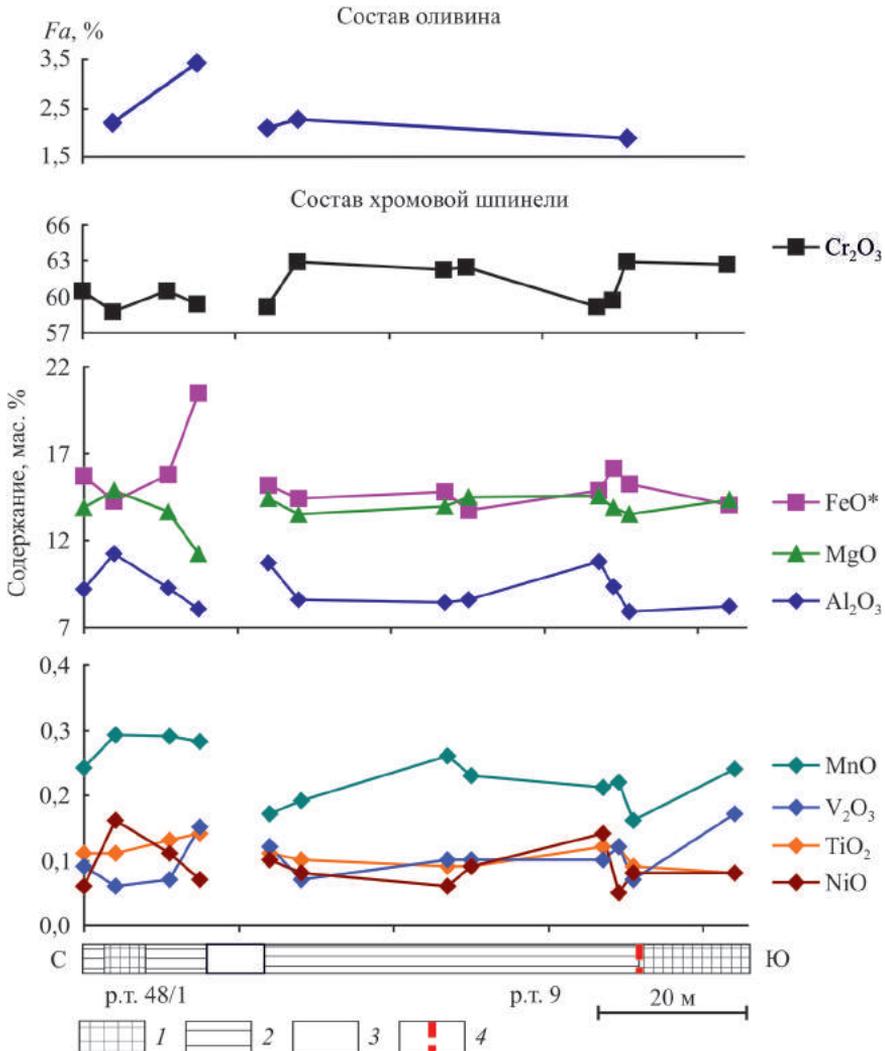


Рис. 127. Изменение химического состава хромовой шпинели и оливина по профилю через рудные тела № 48/1 и № 9; месторождение Центральное.

1–2 – хромититы: 1 – густовкрапленные, 2 – средневкрапленные; 3 – дуниты; 4 – зона деформации хромовых руд

7.2. Амфиболы из хромититов и околорудных ультрамафитов месторождения Центральное

Исследован химический состав амфиболов в хромититах и метаультрамафитах, вмещающих рудную залежь № 9, расположенную в юго-западной части месторождения Центральное массива Рай-Из. Амфибол, совместно с хлоритом и форстеритом слагает силикатную составляющую высокохромистых хромититов, а также является одним из главных породообразующих минералов апогарцбургитовых метаультрамафитов – амфибол-энстатит-оливиновых пород, широко развитых совместно с дунит-пегматитами в пределах основной рудоконтролирующей структуры массива Рай-Из. Составы оливина и хромовой шпинели детально исследованы; результаты освещены выше.

Ранее было установлено, что химический состав амфибола из околорудных ультрамафитов является индикатором химического типа оруденения (Вахрушева и др., 1991; Вахрушева, 1996, 1997). Исследование химизма амфибола из силикатной части хромитита и амфибол-энстатит-оливиновой породы месторождения Центральное подтвердили выявленную ранее зависимость – для амфибола из околорудных пород и хромититов высокохромистого типа характерно высокое отношение натрия к титану ($\text{Na}_2\text{O}/\text{TiO}_2 > 5$; рис. 128), тогда как для амфибола из ультрамафитов и хромититов глиноземистого химического типа определены существенно более высокие содержания оксида титана при относительно невысоком (менее 2) отношении $\text{Na}_2\text{O}/\text{TiO}_2$ (Вахрушева, Богданова, 2016).

Микронзондовые анализы амфибола выполнены на электронно-зондовых микроанализаторах CAMECA SX-100 (ИГГ УрО РАН, г. Екатеринбург, аналитик Д.А. Замятин и ГЕОХИ РАН, г. Москва, аналитик Н.Н. Кононкова).

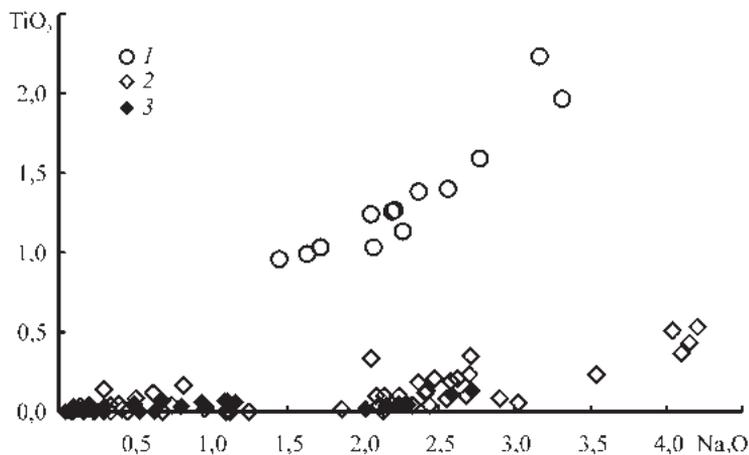


Рис. 128. Соотношение оксидов натрия и титана в амфиболах из разрезов хромитонесущих ультрамафитов.

1 – амфиболы из рудовмещающих ультрамафитов и хромититов глиноземистого типа (Войкаро-Сыньинский массив), 2 – амфиболы из рудовмещающих ультрамафитов и хромититов хромистого типа (Войкаро-Сыньинский массив), 3 – амфиболы из рудовмещающих ультрамафитов и хромититов хромистого типа (месторождение Центральное, массив Рай-Из)

Амфибол в амфибол-энстатит-оливиновых породах (обр. Р-2) по химическому составу соответствует тремолиту (табл. 30). Содержание оксида натрия в нем составляет 0,15–0,30 мас. %, количество оксида титана – на пределе чувствительности прибора (0,01–0,03 мас. %). Кроме того, в минерале присутствуют примеси глинозема (0,33–0,94 мас. %), оксида хрома (0,09–0,19 мас. %), оксида никеля (0,06–0,22 мас. %) и оксида марганца (0,00–0,13 мас. %). Железистость амфибола $f = \text{Fe}^{2+} \cdot 100\% / (\text{Fe}^{2+} + \text{Mg})$ варьирует от 3,3 до 4,4%. Калий и фтор, содержание которых постоянно контролировались при микрозондовых исследованиях, в минерале не установлены. Химическая зональность в минерале проявлена слабо. Зерна нередко представляют собой сростание двух индивидов, несколько отличающихся по составу (рис. 129, см. табл. 30).

В хромититах из рудной залежи № 9 месторождения Центральное амфибол исследован в сплошной (обр. Р-4) и густовкрапленной (обр. Р-5) структурных разновидностях хромовых руд. Минерал представлен идиоморфными кристаллами, как правило, в сростании с хлоритом (рис. 130, 131), нередко выполняя микровключения внутри зерен хромовой шпинели. Состав амфибола заметно варьирует в пределах одного образца (обр. Р-4, табл. 31), соответствуя по современной классификации кальциевых амфиболов эдениту – тре-

Таблица 30

Химический состав амфибола из амфибол-энстатит-оливиновой породы (обр. Р-2) и хромитита (обр. 5) по результатам микрозондового анализа (оксиды в мас. %)

| Компонент | Обр. Р-2 | | | | | | Обр. Р-5 | | |
|---|----------|---------|--------|---------|--------|-------|----------|-------|-------|
| | 1 | 2 центр | 2 край | 3 центр | 3 край | 4 | 1_1 | 1_2 | 1_3 |
| SiO ₂ | 58,30 | 57,51 | 57,83 | 56,96 | 57,46 | 56,73 | 59,43 | 58,50 | 56,54 |
| TiO ₂ | 0,03 | 0,00 | 0,00 | 0,03 | 0,01 | 0,02 | 0,00 | 0,00 | 0,03 |
| Al ₂ O ₃ | 0,33 | 0,56 | 0,94 | 0,94 | 0,36 | 0,37 | 0,19 | 0,60 | 1,57 |
| Cr ₂ O ₃ | 0,11 | 0,18 | 0,19 | 0,15 | 0,12 | 0,09 | 0,29 | 0,17 | 0,49 |
| FeO | 1,65 | 1,63 | 1,89 | 1,84 | 1,45 | 1,44 | 0,44 | 0,62 | 0,81 |
| MgO | 23,74 | 23,71 | 23,19 | 22,90 | 23,45 | 23,78 | 24,15 | 24,01 | 23,61 |
| MnO | 0,13 | 0,07 | 0,00 | 0,06 | 0,07 | 0,05 | 0,02 | 0,03 | 0,06 |
| CaO | 13,03 | 13,14 | 12,96 | 12,99 | 13,18 | 13,09 | 13,45 | 13,13 | 13,26 |
| Na ₂ O | 0,19 | 0,24 | 0,30 | 0,30 | 0,15 | 0,20 | 0,53 | 0,63 | 0,97 |
| K ₂ O | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,03 | 0,03 | 0,04 |
| NiO | 0,14 | 0,14 | 0,11 | 0,22 | 0,09 | 0,06 | 0,24 | 0,25 | 0,23 |
| Сумма | 97,66 | 97,18 | 97,41 | 96,39 | 96,34 | 95,83 | 98,77 | 97,97 | 97,61 |
| Формульные коэффициенты в расчете на 23 кислорода | | | | | | | | | |
| Si | 7,96 | 7,90 | 7,92 | 7,90 | 7,95 | 7,90 | 7,99 | 7,94 | 7,75 |
| Ti | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Al | 0,05 | 0,09 | 0,15 | 0,15 | 0,06 | 0,06 | 0,03 | 0,10 | 0,25 |
| Al ^{IV} | 0,04 | 0,09 | 0,08 | 0,10 | 0,05 | 0,06 | 0,01 | 0,06 | 0,25 |
| Al ^{VI} | 0,01 | 0,00 | 0,07 | 0,05 | 0,01 | 0,00 | 0,02 | 0,03 | 0,01 |
| Cr | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,03 | 0,02 | 0,05 |
| Fe | 0,19 | 0,19 | 0,22 | 0,21 | 0,17 | 0,17 | 0,05 | 0,07 | 0,09 |
| Mg | 4,83 | 4,86 | 4,73 | 4,73 | 4,84 | 4,94 | 4,84 | 4,86 | 4,83 |
| Mn | 0,02 | 0,01 | 0,00 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,01 |
| Ca | 1,91 | 1,93 | 1,90 | 1,93 | 1,95 | 1,95 | 1,94 | 1,91 | 1,95 |
| Na | 0,05 | 0,06 | 0,08 | 0,08 | 0,04 | 0,05 | 0,14 | 0,17 | 0,26 |
| K | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| Ni | 0,02 | 0,02 | 0,01 | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,03 | 0,03 | 0,03 |

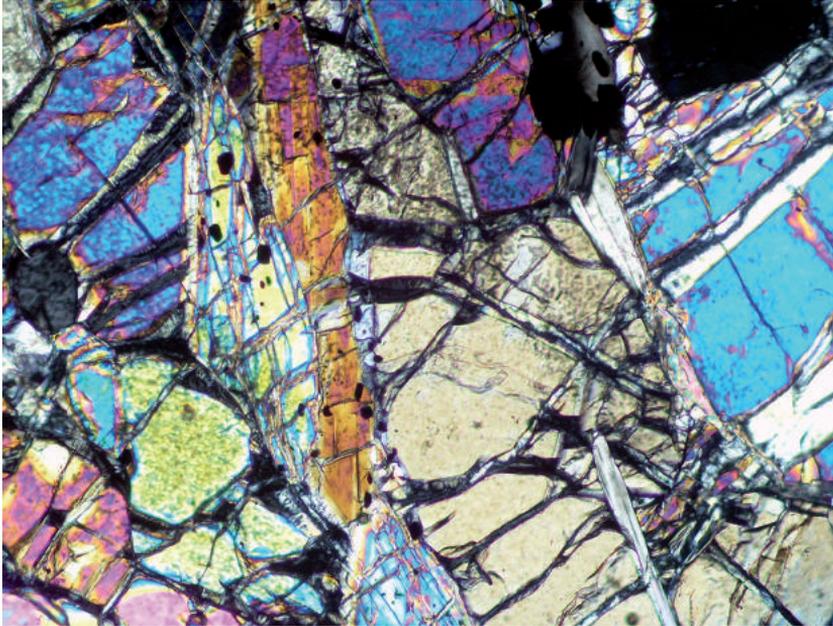


Рис. 129. Амфибол из амфибол-энстатит-оливиновой породы. Обр. Р-2.
Фото шлифа с анализатором. Увеличение 100х (1 мм по короткой стороне кадра)

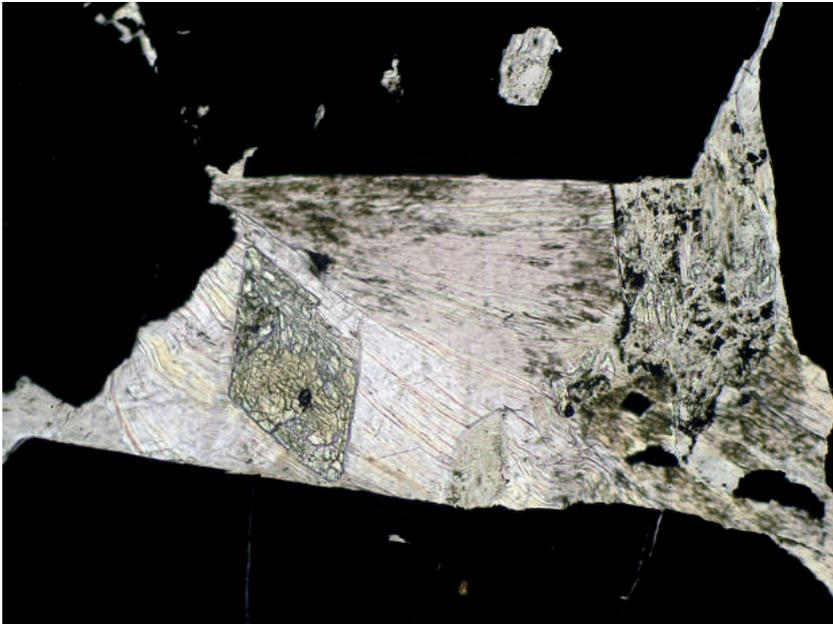


Рис. 130. Амфибол в срастании с хлоритом из хромитита. Обр. Р-4.
Фото шлифа без анализатора. Увеличение 100х (1 мм по короткой стороне кадра)

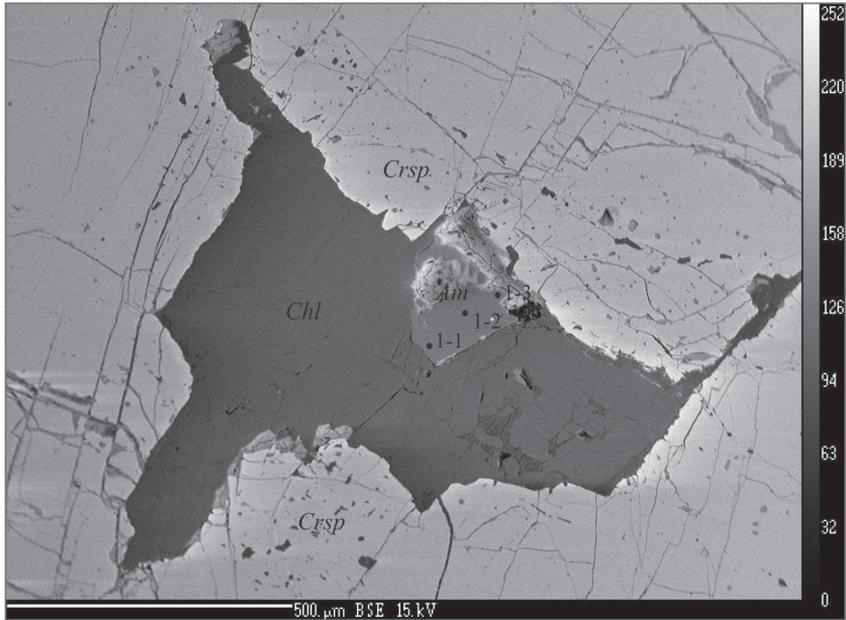


Рис. 131. Амфибол в сростании с хромовой шпинелью. Обр. P-5.

BSE-изображение. Точки анализов – см. табл. 27.
Am – амфибол, *Crsp* – хромовая шпинель, *Chl* – хлорит

молиту (Leake et al., 1997; Hawthorne et al., 2012). Минерал не только проявляет химическую зональность, но и существенно изменяет свой состав от зерна к зерну.

Содержание глинозема в минерале варьирует от 0,19 до 8,12 мас. %; оксида натрия – от 0,53 до 2,72 мас. %; количество оксида титана не велико и составляет 0,00–0,13 мас. %. Также в отдельных зернах минерала отмечается повышенное содержание оксида хрома 0,12–1,80 мас. %; оксид никеля варьирует от 0,10 до 0,25 мас. %; оксид калия – от 0,01 до 0,11 мас. %. Железистость минерала изменяется от 7,93 до 8,01% в наиболее глиноземистых разностях (эдените) и составляет 1,01 – 2,50% в тремолите.

В кристалле амфибола, нарастающем на зерно хромовой шпинели и погруженном в хлорит (обр. P-5, см. табл. 31, рис. 131), химическая зональность проявлена наиболее отчетливо – в контакте со шпинелидом содержание глинозема составляет 1,57 мас. %, в центре зерна – 0,60, а в краевой части (на контакте с хлоритом) – 0,19 мас. %. Аналогичная картина наблюдается по железу и натрию: в контакте со шпинелидом количество оксида железа составляет 0,81, в центре зерна – 0,62 в контакте с хлоритом – 0,29 мас. %; содержание оксида натрия от контакта с хромовой шпинелью снижается от 0,97 до 0,63 в центре зерна и до 0,53 мас. % в краевой части кристалла. Количество оксида хрома в центральной части зерна составляет 0,17 мас. %, возраста в контакте с хромовой шпинелью до 0,49, а в контакте с хлоритом – до 0,29 мас. %. Подобная зональность отражает как химическое взаимодействие с рудообразующей хромовой

Таблица 31

Химический состав амфибола из хромитита по результатам микронзондового анализа (оксиды в мас. %)

| Компонент | Обр. Р-4 | | | | | | | | |
|--|----------|---------|-------|-------|-------|-------|---------|-------------|--------|
| | 1 центр | 1 край | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 центр | 6 периферия | 6 край |
| SiO ₂ | 49,90 | 50,02 | 50,53 | 56,76 | 55,41 | 57,23 | 55,92 | 56,69 | 57,75 |
| TiO ₂ | 0,13 | 0,11 | 0,08 | 0,02 | 0,01 | 0,03 | 0,07 | 0,06 | 0,07 |
| Al ₂ O ₃ | 8,05 | 8,12 | 3,79 | 1,23 | 2,45 | 1,61 | 2,08 | 1,73 | 1,05 |
| Cr ₂ O ₃ | 1,41 | 1,22 | 1,80 | 0,22 | 1,44 | 0,32 | 0,32 | 0,20 | 0,12 |
| FeO | 3,23 | 3,14 | 1,16 | 0,75 | 1,01 | 0,81 | 0,90 | 0,87 | 0,78 |
| MgO | 20,70 | 20,44 | 25,40 | 24,22 | 23,61 | 24,01 | 24,24 | 23,88 | 24,25 |
| MnO | 0,05 | 0,05 | 0,04 | 0,02 | 0,07 | 0,02 | 0,02 | 0,04 | 0,05 |
| CaO | 11,90 | 11,79 | 10,77 | 13,27 | 12,67 | 13,18 | 12,31 | 12,86 | 12,96 |
| Na ₂ O | 2,72 | 2,59 | 1,80 | 0,90 | 1,33 | 0,80 | 1,11 | 0,94 | 0,68 |
| K ₂ O | 0,14 | 0,11 | 0,08 | 0,01 | 0,07 | 0,06 | 0,06 | 0,03 | 0,04 |
| NiO | He опр. | He опр. | 0,20 | 0,25 | 0,13 | 0,17 | 0,16 | 0,18 | 0,18 |
| Сумма | 98,23 | 97,59 | 95,65 | 97,65 | 98,20 | 98,24 | 97,19 | 97,48 | 97,93 |
| Формульные коэффициенты (расчет на 23 кислорода) | | | | | | | | | |
| Si | 6,96 | 7,00 | 7,16 | 7,77 | 7,59 | 7,78 | 7,69 | 7,76 | 7,85 |
| Ti | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| Al | 1,32 | 1,34 | 0,63 | 0,20 | 0,40 | 0,26 | 0,34 | 0,28 | 0,17 |
| Al ^{IV} | 1,03 | 0,99 | 0,63 | 0,20 | 0,40 | 0,22 | 0,31 | 0,23 | 0,14 |
| Al ^{VI} | 0,29 | 0,35 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,04 | 0,03 | 0,05 | 0,03 |
| Cr | 0,16 | 0,13 | 0,20 | 0,02 | 0,16 | 0,03 | 0,03 | 0,02 | 0,01 |
| Fe | 0,38 | 0,37 | 0,14 | 0,09 | 0,12 | 0,09 | 0,10 | 0,10 | 0,09 |
| Mg | 4,30 | 4,26 | 5,36 | 4,94 | 4,82 | 4,86 | 4,97 | 4,87 | 4,92 |
| Mn | 0,01 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 |
| Ca | 1,78 | 1,77 | 1,63 | 1,95 | 1,86 | 1,92 | 1,81 | 1,89 | 1,89 |
| Na | 0,74 | 0,70 | 0,49 | 0,24 | 0,35 | 0,21 | 0,30 | 0,25 | 0,18 |
| K | 0,02 | 0,02 | 0,01 | 0,00 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| Ni | 0,00 | 0,00 | 0,02 | 0,03 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 |

шпинелью (максимальные содержания хрома и железа отмечаются в амфиболе из контакта со шпинелидом), так и параметры минералообразования – снижение алюминия в тетраэдрической координации от 0,25 формульных единиц в контакте с шпинелидом до 0,06 в центре зерна и 0,01 ф.е. (см. табл. 31) – в контакте с хлоритом, отражает снижение давления при формировании амфибола.

Относительно невысокие содержания глинозема в исследованных амфиболах как из амфибол-энстатит-оливиновой породы, так и хромититов, отражают общую закономерность, выявленную для хромитоносных разрезов, вмещающих хромититы различных химических типов. В ультрамафитах, вмещающих оруденение глиноземистого типа, алюминий концентрируется, в основном, в амфиболе, тогда как для пород и хромититов высокохромистого типа основным минералом-концентратором глинозема является хлорит – клинохлор, сосуществующий с низкоглиноземистым амфиболом – тремолитом. По экспериментальным данным установлено, что высокоглиноземистые амфиболы эденит-паргаситового ряда образуются при более высоких температурах, чем тремолит, тогда как ассоциация тремолит+клинохлор формируются в условиях повышенного давления флюидной фазы (Obata, Thompson, 1981; Jenkins, 1983).

Несмотря на значительные вариации состава амфибола в хромититах и амфибол-энстатит-оливиновых пород, все точки анализов хорошо ложатся на общую линейную зависимость в координатах $\text{Na}_2\text{O}-\text{TiO}_2$ (см. рис. 128), что подтверждает единый процесс минералообразования, существующий в системе порода-руда для месторождения Центрального массива Рай-Из.

7.3. Геохимическая специфика рудовмещающих ультрамафитов

Геохимия редких земель в настоящее время успешно используется для исследования различных процессов в глубинных породах. Так, изучение валентного состояния церия и европия в цирконах позволило реконструировать особенности кислородного режима коры и мантии (Балашов и др., 2012). Получены данные о связи общего количества РЗЭ и характеристик их спектров со степенью ранней петельчатой серпентинизации для ультрамафитов альпийского типа и платиноносной формаций (Чашухин, 2012). Проведены исследования распределения РЗЭ в метаморфизованных хромитонесущих ультрамафитах, хромовых рудах и рудообразующих шпинелидах Войкаро-Сыньинского и Рай-Изского массивов (Вахрушева, 2007, 2009).

Одним из важных вопросов геохимии РЗЭ в ультрамафитах является степень пространственной однородности геохимических характеристик. К какому объему вещества следует относить информацию, полученную при интерпретации спектров РЗЭ? Какова степень пространственной изменчивости спектров РЗЭ в ультрамафитах вообще и в нормативно одинаковых ультрамафитах в частности?

Фактические материалы по геохимии РЗЭ для ультрамафитов западной части массива Ронда (Van der Wal, Bodinier, 1996) позволяют сделать следующие выводы. Для лерцолитов и крупнозернистых гарцбургитов установлены монотонные спектры РЗЭ, характерные для тугоплавкого остатка при частичном плавлении. В тектонизированных ультрамафитах происходит трансформация вида спектра РЗЭ – сначала он утрачивает монотонность, появляется «излом» на Nd/Sm, а затем происходит смена типа спектра на U/V-образный. Интенсивность изменений определяется расстоянием от тектонической границы, проявленной как фронт рекристаллизации. Изменение типа спектра РЗЭ наблюдается на расстоянии в первые сотни метров.

Для массива Луобаса (Восточный Тибет) установлена гетерогенность дунитов по типам спектров РЗЭ (Zhou et al., 2005). Для дунитов получены как спектры РЗЭ U-типа, так и спектры, характеризующиеся обогащением тяжелыми РЗЭ (HREE-тип). Для клинопироксен-содержащих гарцбургитов (Срх-гарцбургитов) также установлен прямой тренд фракционирования РЗЭ, а для гарцбургитов – спектр РЗЭ V-типа. Для редко-среднекрупной хромовой руды установлен спектр РЗЭ U-типа. Изменение типа спектров РЗЭ происходит на расстоянии 25 см, заметные изменения параметров спектров – в пределах 3–10 см.

Ф.П. Лесновым с соавторами (2009) детально изучено распределение редких земель и некоторых других редких элементов в лерцолитовом включении размером $12 \times 22 \times 30$ см в щелочном базальте вулкана Шаварын-Царам. Авторы получили данные о преимущественной локализации несовместимых элементов в микротрещинном веществе – «контаминате», т.е. в качестве неструк-

турной примеси. Наряду с геохимическими характеристиками микропорового пространства Ф.П. Лесновым с соавторами приводятся данные по распределению РЗЭ в минералах. Наибольшим разнообразием спектров РЗЭ отличаются оливин, для которого установлены спектры LREE-; HREE- и U-типов. Геохимическая зональность перцолитового включения характеризуется пространственной периодичностью в 5–6 см. При этом значимые изменения в характере спектров РЗЭ оливина происходят на расстояниях в первые миллиметры.

Во всех рассмотренных выше случаях выявляется разномасштабная пространственная неоднородность геохимических характеристик, связанных с распределением РЗЭ. Эти данные актуализируют проведение аналогичных исследований на хромитоносных объектах Урала.

Характерной чертой офиолитовых ультрамафитов является многоэтапная история мантийных и мантийно-коровых деформаций. Этапность и интенсивность деформаций в различных блоках ультрамафитов массива Рай-Из детально изучены В.Р. Шмелевым и В.Н. Пучковым (Строение..., 1990). Выявлены структуры деформационного происхождения для различных блоков ультрамафитов массива. Установлено, что хромитообразование происходило в условиях высокотемпературного пластического течения в условиях сжатия. Деформационный подход к хромитообразованию в настоящее время активно развивается Д.Е. Савельевым (2008, 2017, и др.), В.Ю. Алимовым (2008, 2009, и др.).

В настоящем разделе приведены результаты изучения распределения РЗЭ в локальных пересечениях по ультрамафитам массива Рай-Из, вмещающим хромовые руды (см. прил. 4), а также микростроения и кристаллохимических особенностей оливинов из ультрамафитов, различающихся по геологическому положению, степени метаморфизма, деформированности и/или типам спектров РЗЭ.

Изучено распределение РЗЭ и других редких элементов в ультрамафитах, вмещающих высокохромистое оруденение месторождения Центральное в пересечении по штольне, пройденной к рудному телу № 9 месторождения Центральное (мода в хромовой шпинели по Cr_2O_3 – 60–62 мас. %, Al_2O_3 – 8–10 мас. % (см. раздел 5.1). Общая длина разреза – 440 м, интервал опробования – 10 м. Содержание лантаноидов проанализировано в 15 образцах методом ICP-MS в ИГГ УрО РАН. Ультрамафиты представлены энстатит-оливиновыми, амфибол-энстатит-оливиновыми породами и дунитами. Дуниты средне-, крупнозернистого и пегматоидного типов в пересечении преобладают.

При петрографическом изучении шлифов как для оливина, так и энстатита, установлены многочисленные признаки деформаций – волнистое угасание в оливине, деформационные двойники, проявления рекристаллизации (см. раздел 2.2, 3.3).

В околорудном пространстве наблюдаются максимумы содержаний LREE, которые в ультрамафитах данного разреза пространственно коррелируют с зонами обогащения другими крупными катионами – Rb, Cs, Ba, Cd, W, Pb, (рис. 132, см. приложение 4).

В дуните (рис. 133, а) установлено значительное обогащение легкими РЗЭ, что характерно для ультрамафитов, маркирующих породы рудной зоны. Спектр РЗЭ в этом случае относится к LREE-типу, (La-Sm)-подтипу. Аналогичное, хоть и менее контрастное распределение лантаноидов установлено для дунитов (рис. 133, к); оливин-энстатитовых пород (рис. 133, з). Спектры, наи-

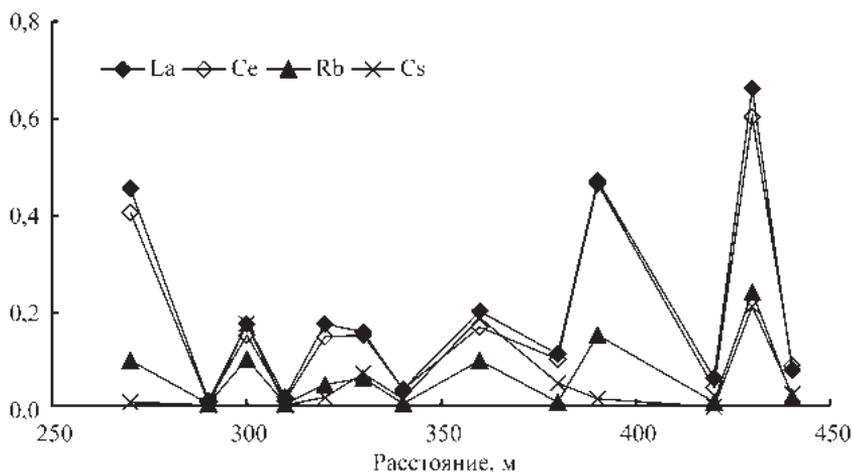


Рис. 132. Распределение лантана, церия, рубидия, цезия (нормировано на хондрит) в околорудном пространстве рудного тела № 9, месторождение Центральное

более близкие к Ду/Но-Lu-подтипу, встречаются в энстатит-содержащих дунитах (рис. 133, б, г). Спектры РЗЭ U-типа отмечены для энстатит-содержащих (рис. 133, ж, и) и пегматоидных дунитов (рис. 133, в, д).

Ранний, гарцбургитовый тип спектра РЗЭ с прямым монотонным трендом, установленный для ультрамафитов, вмещающих глиноземистое оруденение на Войкаро-Сыньинском массиве (Вахрушева, Алимов, 2014), в данном разрезе не встречен. Дуниты обладают большим разнообразием спектров РЗЭ, чем гарцбургиты.

В рудовмещающих ультрамафитах рудопроявления Енгайское-1, локализованном в интенсивно дислоцированном теле дунитов (см. разделы 2.1, 5.3) также выявлены аномально высокие, по сравнению с «фоновыми» породами, содержания РЗЭ (рис. 134), при этом конфигурация спектров лантаноидов также заметно варьирует.

Для дунитов, вмещающих месторождение Центральное и рудопроявление Енгайское-1 характерна пегматоидная структура с интенсивно проявленным процессом синтетектонической рекристаллизации оливина: крупные (нередко более 1 см) зерна минерала с волнистым или неполным угасанием погружены в мозаичный мелкозернистый агрегат рекристаллизованных зерен. Для крупных зерен оливина характерна спайность; внутри них может проявляться рекристаллизация в виде линейных зон, секущих основное направление спайности в минерале.

В пироксен-содержащих дунитах размер «крупных» зерен оливина составляет 3–7 мм; для них характерно тонкое трансляционное полисинтетическое двойникование (рис. 135), нередко с изогнутыми двойниковыми границами; зерна ортопироксена и амфибола – со следами изгиба. Кроме того, в средне-крупнозернистом матриксе наблюдаются линейные зонки, сложенные рекристаллизованными оливином, энстатитом и амфиболом, размер зерен которых нередко на порядок меньше, чем в основной массе породы (см. главу 3). Коли-

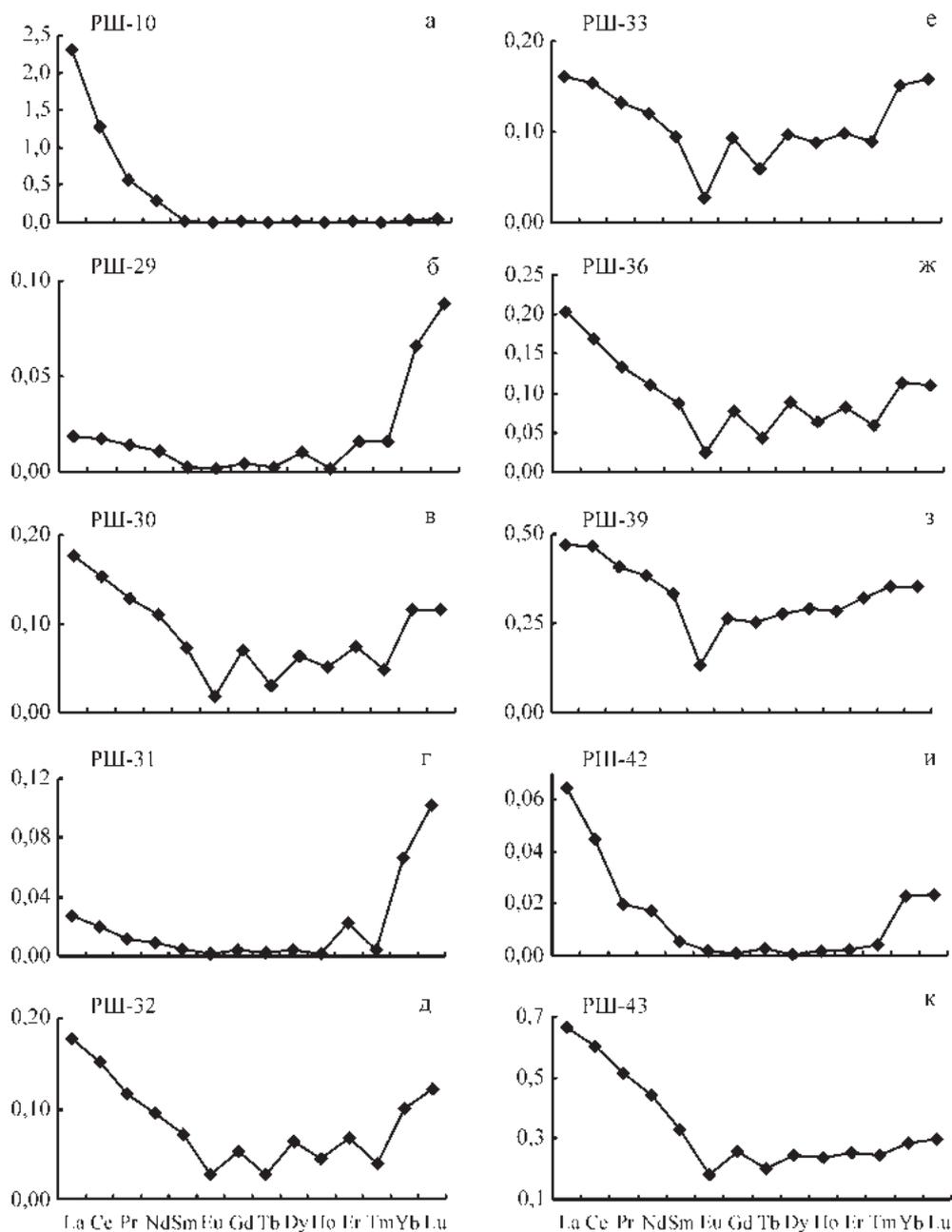


Рис. 133. Спектры РЗЭ (нормировано на хондрит) в рудовещающих ультрамафитах по штольне 480 метров, месторождение Центральное

чество рекристаллизованных оливина и энстатита в пироксен-содержащих дунитах может значительно превышать объем крупных зерен.

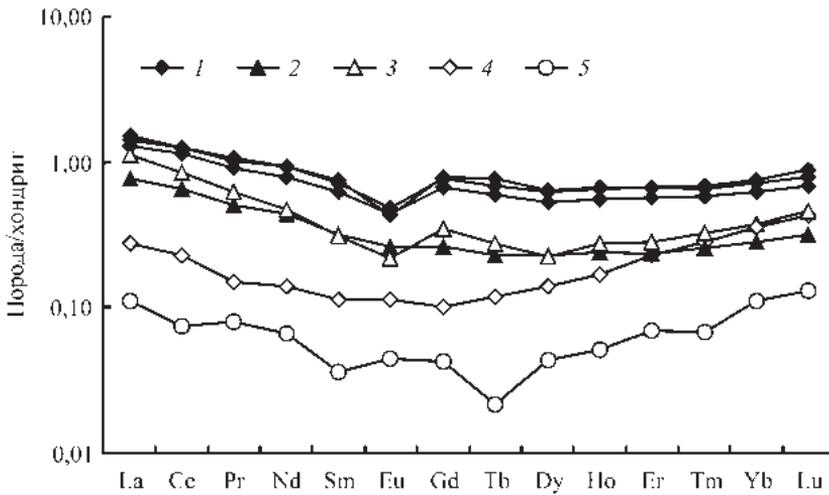


Рис. 134. Распределение лантаноидов в околорудных и «фоновых» породах; рудопроявление Енгайское-1.

1 – дунит околорудный, рудное тело № 744; 2 – дунит с повышенной вкрапленностью хромовой шпинели; 3 – дунит околорудный, рудное тело № 795; 4 – дунит из обособления в амфибол-оливиновой породе; 5 – амфибол-оливиновая порода

Таким образом, петрографическое изучение показывает наличие различных проявлений деформационных процессов в рудовмещающих ультрамафитах.

Микростроение оливинов изучалось методами сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) в Институте минералогии УрО РАН, аналитик И.А. Блинов. Фазовый состав контролировался на энерго-дисперсионной приставке к микроскопу РЭММА-202м. Установлено, что для оливинов из дунитов и хромовых руд рудопроявления Енгайское-1 характерно мелкоблочное строение,

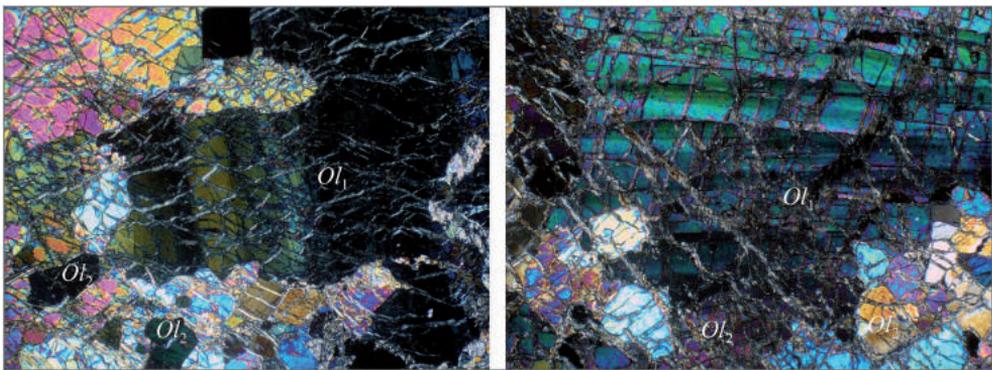


Рис. 135. Оливин из околорудных дунитов месторождения Центральное (слева) и рудопроявления Енгайское-1 (справа).

Увеличение 25× (4 мм по ширине кадра), с анализатором.

Ol_1 – «крупные» зерна с полисинтетическим двойникованием, Ol_2 – рекристаллизованный оливин

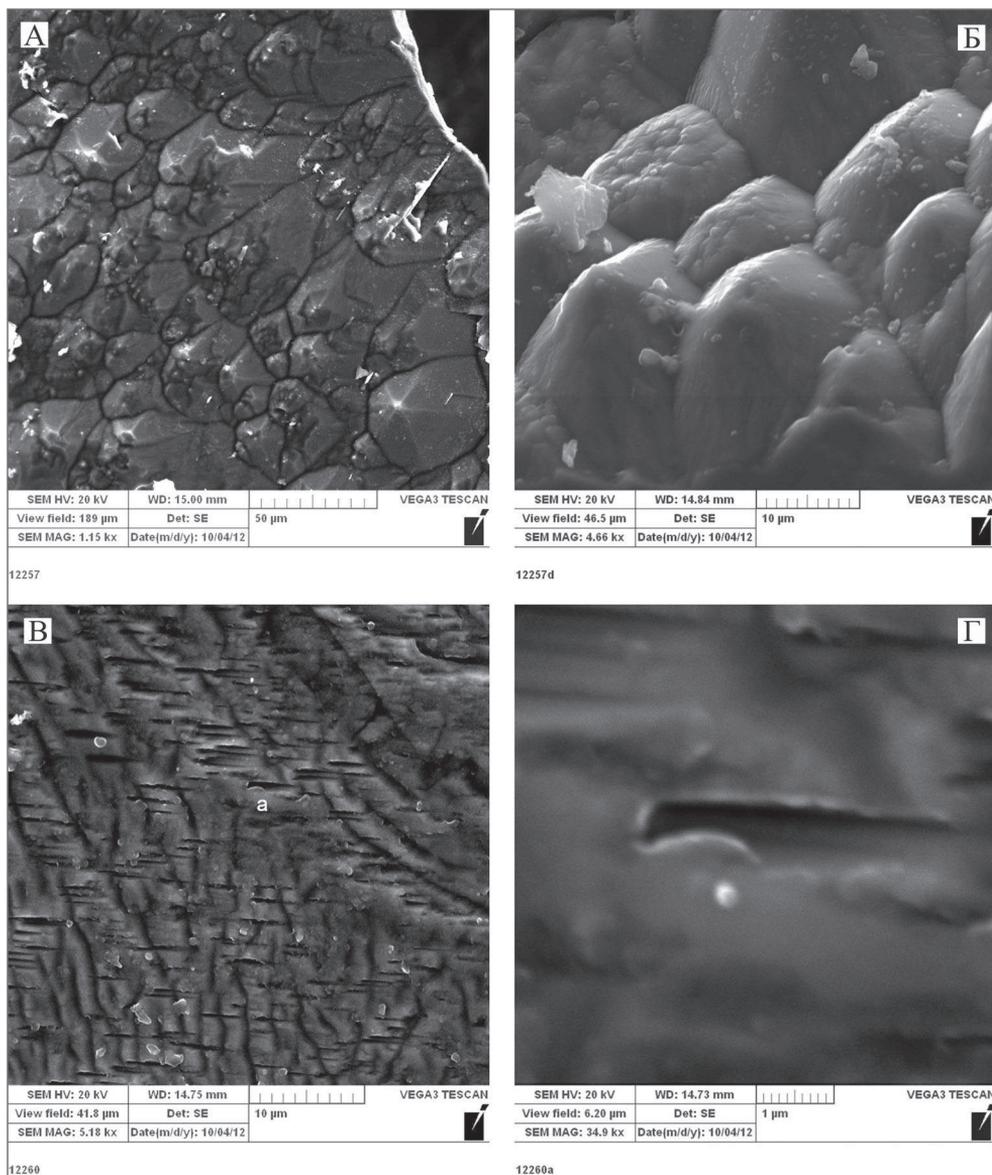


Рис. 136. Микростроение оливинов массива Рай-Из по данным сканирующей электронной микроскопии.

А, Б – обр. КР-4025/10 – дунит с повышенной вкрапленностью хромовой шпинели, рудопроявление Енгайское-1; В – обр. РШ-10, дунит, месторождение Центральное; Г – строение микропоры в оливине (фрагмент В)

характеризующееся развитой поверхностью микрозерен. Данный процесс можно охарактеризовать как ультрамилонитизацию. Для оливинов из дунитов и хромовых руд р.п. Енгайское-1 установлено строение микроблоков гексагонального облика. Гексагональная форма проявлена для относительно круп-

ных субзерен – 30–40 мкм. Блоки меньших размеров имеют округлую форму. Минимальный наблюдаемый размер микроблоков оливина равен 0,5 мкм. Характерная черта строения оливинов – крупные микроблоки состоят из более мелких. Методами СЭМ наблюдается 3–4 масштабных уровня компоновки микроблоков оливина. Блоки размером 0,5 мм образуют глобулы размером 1,8–2,0 мкм, которые в свою очередь образуют субзерна размером 10–30 мкм. Можно отметить, что оливины имеют фрактальное строение (рис. 136, А, Б).

Микроблочность и дендритные формы были установлены П.Я. Ярошем и Е.П. Царицыным в результате химического травления оливина (Ярош, Царицын, 1978). Микроглобулярные хромовые шпинели из нодулярных хромитов с фрактальным строением изучены ранее В.Ю. Алимовым и Л.А. Шерстобитовой (Строение..., 1990).

Пористость с элементами преимущественной ориентировки установлена для оливина из энстатитового дунита РШ-10 (рис. 136, В, Г). Поры имеют форму ламелей с преобладающим размером 0,3×4,0 мкм. Ламелярные поры местами срastaются, образуя области трехмерных дефектов неправильной формы. Края пор представлены как плоскими участками, так и округлыми реликтами микроблоков оливина размерами 0,5–1,5 мкм (рис. 136, Г).

В ходе исследований установлено закономерное пространственное распределение в околорудных ультрамафитах: легких и тяжелых РЗЭ; Eu-аномалии; щелочных металлов – Ва, Вi и ряда других крупных катионов. Околорудные геохимические ореолы максимальной локальности образованы подсистемой крупных катионов. HREE маркируют внешние части рудной зоны. Известное ранее выделение рудных зон по положительной корреляции MgO и SiO₂ имеет промежуточную локальность (Алимов, Вахрушева, 1994).

Для ультрамафитов, вмещающих как глиноземистое, так и высокохромистое оруденение, установлена высокая степень пространственной изменчивости типов спектров РЗЭ. Наибольшим разнообразием спектров РЗЭ обладают дуниты.

Методами оптической и электронной микроскопии установлена значительная степень влияния пластических деформаций на оливин. В ультрамафитах, вмещающих хромовое оруденение как глиноземистого, так и хромистого типов оруденения выявлены немонотонные спектры РЗЭ прямого, обратного и U-типов, для возникновения которых предложен деформационный механизм. Высокая степень пространственной изменчивости типов спектров РЗЭ и данные по микростроению оливина позволили связать геохимические особенности рудовмещающих ультрамафитов с процессами развитой пластической деформации (Алимов, Вахрушева, 2012; Вахрушева, Алимов, 2014).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Метаморфическая история ультрамафитов массива Рай-Из хорошо увязывается с деформационной историей, последовательно изложенной В.Н. Пучковым и В.Р. Шмелевым (Строение..., 1990).

На первом этапе пластических деформаций по В.Н. Пучкову и В.Р. Шмелеву (Строение..., 1990) происходит образование первичной планпараллельной полосчатости; возникает микроструктура протогранулярного типа, фиксирующая относительно невысокие скорости деформации и повышенные температуры; происходит установление равновесной минеральной ассоциации: оливин+энстатит+хромшпинелид+клинопироксен; на этом же этапе происходит формирование изоклинальных складок, широко распространенных в пределах Кэрдоменшорской и Верхнесобской структур.

Наиболее ранними породами из изученных нами среди ультрамафитов массива являются слабо серпентинизированные гарцбургиты, встреченные в виде локальных блоков в тальк-амфибол-оливиновых породах в восточной части массива, а также среди оливин-антигоритовых пород в северной и амфибол-энстатит-оливиновых пород в юго-западных частях массива Рай-Из. Основаниями для такого вывода служат протогранулярная структура гарцбургитов, состав минералов, присутствие в ассоциации зонального акцессорного хромшпинелида, центральные части зерен которого обогащены хромом, а края – глиноземом. В равновесии с энстатитом находятся краевые части акцессорного хромшпинелида, а центральные, по-видимому, находились в равновесии с ранним ортопироксеном и клинопироксеном.

Пластические деформации в условиях верхней мантии приводят к образованию гарцбургитов с порфирукластической структурой. В этих породах отсутствует ранний диопсид, а акцессорный шпинелид и клинопироксен по составу практически не отличаются от ламелей этих минералов в энстатите (Алимов и др., 1986). Формирование глиноземистой шпинели, являющейся продуктом распада раннего энстатита, происходит при более низких *P-T*-параметрах, чем высокохромистой, слагающей центральные части зерен акцессорного шпинелида в гарцбургитах.

Самым ранним водосодержащим минералом в ультрамафитах является паргасит. В несерпентинизированных гарцбургитах Кемпирсайского массива (скв. 639) обнаружено замещение порфирукластического энстатита мелкозернистым агрегатом оливина, паргасита и энстатита (Алимов и др., 1986). Подобная картина наблюдалась нами и в ультрамафитах массива Рай-Из – в амфибол-энстатит-оливиновых породах с реликтами «гарцбургитового» энстатита, насыщенного ламелями хромовой шпинели (юго-западная часть массива, а также северо-западная – правый борт р. Макар-Рузь, Леквожский кар). Подобные «переходные» породы прослеживаются на протяжении более 1000 метров на юго-западе и 500 метров – на северо-западе массива Рай-Из. Исследование состава ламелей хромовой шпинели в порфирукластах энстатит-

та, вростков в оливине, амфиболе и аксессуарных компактных зерен подтверждает возможность механизма сегрегационной перекристаллизации при образовании аксессуарного шпинелида. Концентрация и укрупнение ламелей хромовой шпинели в энстатите происходит в зоне излома зерна (кинк-банда) – наибольшего напряжения – области сжатия, и сопровождается рекристаллизацией ортопироксена с образованием необластов, очищенных от примесей. Унаследованность ориентировки ламелей хромовой шпинели в оливине и амфиболе свидетельствует о замещении раннего энстатита этими минералами и развитии по гарцбургиту амфибол-энстатит-оливиновой породы с «переходным» составом минералов: установлены энстатит с низким содержанием примесей (хрома, алюминия, кальция), глиноземистый амфибол – эденит, высокохромистая шпинель. Хромовая шпинель отличается крайне низкой степенью окисленности железа при величине хромистости 0,88–0,90 и соответствует по классификации Н.В. Павлова (1949, 1968) хромиту.

Смена метаморфических ассоциаций, прослеженная в ультрамафитах массива Рай-Из, отражает метаморфическую зональность массива, которая, на наш взгляд, согласована с так называемыми «первичными» подкомплексами дунит-гарцбургитового комплекса. Наименее измененные петельчато серпентинизированные ультрамафиты соответствуют гарцбургитовому подкомплексу. Подкомплекс гарцбургитов с секущими жилами дунитов соответствует в метаморфической зональности зоне развития амфибол-оливиновых и амфибол-оливин-антигоритовых пород, нередко с наложенным развитием оталькования и амфиболизации. Наиболее высокопараметрические метаморфиты – энстатит-оливиновые и амфибол-энстатит-оливиновые породы маркируют область развития шлирово-полосчатого дунит-гарцбургитового комплекса с наиболее высоким содержанием дунитовой составляющей и вмещающего промышленное хромовое оруденение.

Крупные дунитовые тела – Южное и Центральное, тяготеют к юго-восточной границе развития энстатит-оливиновых и амфибол-энстатит-оливиновых пород с зонами синтетектонической рекристаллизации минералов. Более мелкие дунитовые тела, расположенные к северо-востоку от Центрального дунитового тела, также трассируют, по-видимому, фациальную метаморфическую границу амфибол-оливиновых и амфибол-оливин-антигоритовых пород с северо-запада и амфиболизированных гарцбургитов – с юго-востока. Эта граница затушевана более поздним процессом оталькования и амфиболизации.

Следующий этап соответствует подъему на субкоровый уровень, приводит к коренной перестройке структурных и вещественных парагенезисов. Этот этап обуславливает не только возникновение новых структурных форм (складок, зон течения), но и динамометаморфической зональности. По мнению В.Н. Пучкова (Строение..., 1990), а также и по результатам наших исследований, образование структурно-вещественных комплексов гарцбургитов с сетчато-жилными выделениями дунитов, гарцбургитов со шлирово-полосчатыми выделениями дунитов, а также крупных дунитовых тел и наиболее крупных хромитовых концентраций было связано с новой динамической перестройкой на этом этапе. Условия геодинамического этапа определялись меньшими температурами и более высокой скоростью деформации, увеличением стрессовых давлений; важное значение приобретает синтетектоническая рекристаллизация. Завершается этот этап высокотемпературным автопорфи-

робластезом. Релаксация стрессовых напряжений при существующих довольно высоких температурах приводит к обстановке высокотемпературного отжига, который реализуется как процесс автопорфиробластеза с образованием полосы «вторичных», идиобластовых, гарцбургитов (энстатит-оливиновых пород).

Процесс автопорфиробластеза, проявленный в ультрамафитах массива Рай-Из, привел к образованию энстатит-оливиновых и амфибол-энстатит-оливиновых пород с пойкилобластовыми структурами. Этот процесс сопровождался близкой по времени и параметрам синтетектонической рекристаллизацией минералов, приведшей к формированию линейных зон развития мелкозернистых агрегатов амфибол-энстатит-оливинового состава. Как показано в разделе 3.3, составы минералов – энстатита, хромовой шпинели, оливина и амфибола близки, как в метаультрамафитах пойкилобластовой структуры, так и в зонах рекристаллизации. Расчет *P-T*-параметров образования энстатит-оливиновых пород по пироксеновому термобарометру Мерсье (1980) показывает очень близкие результаты по изученным образцам и составляет $700 \pm 50^\circ \text{C}$ при давлении в 32–39 кбар. В то же время, в энстатит-оливиновых породах увеличивается роль хлорита, по сравнению с амфиболом. Процесс автопорфиробластеза ультрамафитов соответствует резкому возрастанию в системе давления за счет вклада деформационных напряжений и смене кислородного режима с восстановительного, в условиях которого формируются амфибол-энстатит-оливиновые породы с аксессуарным хромитом, на окислительный.

Равновесные взаимоотношения амфибола паргасит-эденитового ряда, энстатита и хромшпинелида установлено в амфибол-энстатит-оливиновых породах Войкаро-Сыннинского массива (Вахрушева, 1996). В этих породах происходит перераспределение алюминия из энстатита и хромовой шпинели в амфибол. В энстатит-оливиновых и амфибол-энстатит-оливиновых породах массива Рай-Из в ассоциации участвует клинохлор. Алюминий из пироксена и хромовой шпинели гарцбургита на стадии автопорфиробластеза перераспределяется в основном в клинохлор. Амфибол этой ассоциации в ультрамафитах Рай-Иза содержит существенно меньше алюминия, соответствуя по составу алюминий-содержащему тремолиту, редко – эдениту. По экспериментальным данным установлено, что высокоглиноземистые амфиболы эденит-паргаситового ряда образуются при более высоких температурах, чем тремолит, тогда как ассоциация тремолит+клинохлор формируются в условиях повышенного давления флюидной фазы (Obata, Thompson, 1981; Jenkins, 1983).

Амфибол-оливиновые породы, развитые, в основном в восточной части массива Рай-Из, сформировались в результате полной перекристаллизации гарцбургита в условиях амфиболитовой фации метаморфизма. Количество амфибола определяется содержанием кальция в породе; излишний кремнезем концентрируется в антигорите, глинозем – в хлорите. Состав аксессуарной хромовой шпинели варьирует от субферриалюмохромита до хроммагнетита, что свидетельствует о возможности образования амфибол-оливиновых пород как по гарцбургиту, так и энстатит-оливиновой породе, прошедшей стадию порфиробластеза.

Оливин-антигоритовые и амфибол-оливин-антигоритовые породы составляют внешнюю часть метаморфической зональности, завершая ряд равновесных

метаморфических ассоциаций. Образование оливин-антигоритовых пород происходит также по гарцбургиту, поскольку состав аксессуарной хромовой шпинели соответствует субферриалюмохромиту, то есть является менее окисленным, чем шпинелид энстатит-оливиновых пород. Дуниты, ассоциирующие с оливин-антигоритовыми и амфибол-оливин-антигоритовыми породами, как правило, пегматоидной структуры, с очень низкой степенью серпентинизации.

Петельчатая серпентинизация – наиболее поздний процесс гидратации, проявленный в ультрамафитах. Петельчатый серпентин сечет все более ранние безводные и водосодержащие минералы – оливин, пироксен, амфиболы любого состава, антигорит.

Исследование петрохимических особенностей метаморфических процессов в ультрамафитах позволяет сделать вывод о неизохимическом характере процесса образования энстатит-оливиновых, амфибол-энстатит-оливиновых пород, а также амфибол-оливиновых и амфибол-оливиновых пород, вмещающих хромовое оруденение. Метаультрамафиты, вмещающие месторождение Центральное, заметно обеднены кальцием, глиноземом и кремнеземом – элементами, входящими в состав плагиоклазитов, локализованных в юго-западной части месторождения. Тальк-амфибол-оливиновые породы по сравнению с гарцбургитами, обогащены кальцием и кремнеземом, что свидетельствует о неизохимическом характере процесса амфиболитизации и оталькования, связанных с проявлением Иашорской зоны рассланцевания.

Метаморфические ассоциации, развитые в ультрамафитах массива Рай-Из, образуют температурный ряд, подразделяющийся на группу равновесных метаморфитов и ультрамафитов с неравновесными метаморфическими парагенезисами. В первую группу входят (от более высокотемпературных к низкотемпературным) энстатит-оливиновые и амфибол-энстатит-оливиновые, амфибол-оливиновые и оливин-антигоритовые породы. Ко второй группе относятся тальк-амфибол-оливиновые породы, амфиболитизированные и оталькованные гарцбургиты и петельчато серпентинизированные гарцбургиты.

Высокохромистое хромовое оруденение массива Рай-Из локализовано в породах метаморфизованного дунит-гарцбургитового комплекса, представленных энстатит-оливиновыми, амфибол-энстатит-оливиновыми породами и пегматоидными дунитами со следами деформаций и активной рекристаллизацией минералов. Метаморфиты, вмещающие хромовое оруденение, заметно обеднены алюминием, кальцием, титаном, железом при одном и том же содержании нормативного пироксена, по сравнению с дунитами и гарцбургитами, претерпевшими лишь петельчатую серпентинизацию.

Локализация хромового оруденения месторождений Центральное, Западное и других рудопроявлений массива Рай-Из, произошло в момент формирования высокопараметрических метаморфитов и сопровождалось выделением небольшой порции плагиоклазитового мобилизата в зонах разгрузки. Плагиоклазиты концентрируют алюминий, кальций, щелочи, кремнезем; хромовая руда и околорудные дуниты – хром, железо и магний, фиксируя области сжатия. Полученные оценки давления для околорудных ультрамафитов и хромититов месторождения Центральное не могут определяться только литостатической, поскольку аксессуарная хромовая шпинель в энстатит-оливиновой породе по составу соответствует феррихромиту – шпинелиду с высокой степенью окисленности железа, устойчивому в коровых условиях, и свидетельствуют о

значительном вкладе в общее давление в системе при рудогенезе деформационных напряжений.

Изучение составов породообразующих и рудообразующих минералов позволило выявить единые для руды и рудовмещающих пород (дунит и амфибол-энстатит-оливиновая порода) линейные тренды с хорошей прямой корреляцией в координатах железистость оливина – железистость шпинелида, что свидетельствует о равновесии в локальной системе порода–руда. На наш взгляд, необычайная выдержанность составов рудообразующего минерала, а также отсутствие заметных метаморфических изменений хромовой шпинели, слагающей рудные тела месторождения Центральное, которые залегают в метаморфитах со следами интенсивных деформационных процессов, тоже является подтверждением синхронности событий – рудогенеза и высокобарического метаморфизма ультрамафитов.

Состав акцессорной хромовой шпинели в амфибол-энстатит-оливиновой породе и околорудном дунит-пегматите соответствует хроммагнетиту, тогда как в силикатах (оливине, ортопироксене) железистость существенно ниже, чем в минералах из гарцбургитов с аналогичным содержанием нормативного пироксена. Концентрация железа в окисной минеральной фазе, высокая степень его окисленности исключают возможность формирования разреза в мантийных условиях.

Для ультрамафитов, вмещающих высокохромистое оруденение месторождения Центральное и рудопроявления Енгайское-1, установлена высокая степень пространственной изменчивости типов спектров РЗЭ. Наибольшим разнообразием спектров РЗЭ обладают дуниты. Методами оптической и электронной микроскопии установлена значительная степень влияния пластических деформаций на оливин. В ультрамафитах, вмещающих хромовое оруденение, выявлены немонотонные спектры РЗЭ прямого, обратного и U-типов, для возникновения которых предложен деформационный механизм. Высокая степень пространственной изменчивости типов спектров РЗЭ и данные по микростроению оливина позволили связать геохимические особенности рудовмещающих ультрамафитов с процессами развитой пластической деформации (Вахрушева, Алимов, 2014).

Определение U-Pb изотопного возраста, выполненное по цирконам из флогопитовых плагиоклазитов руч. Рубиновый, расположенных в южной части месторождения Центральное, также как и амфибол-содержащих плагиоклазитов рудопроявления Юго-Западное-IV показывают 400 млн лет (Вахрушева, Иванов и др., 2015), что согласуется с датировками по породам дунит-гарцбургитового комплекса (рудовмещающих метаморфитов месторождения Центральное), полученные А.П. Прямоносным и Ю.Л. Ронкиным Sm-Nd методом (2000).

На границе силура и девона и раннем девоне в области распространения рассматриваемого ультрамафит-мафитового комплекса на фоне начинающейся мощной коллизии произошла глубокая метаморфическая переработка ультрамафитов большей части массива Рай-Из с формированием хромового оруденения высокохромистого типа.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Химический состав (мас. %) рудообразующих и аксессуарных хромовых шпинелей

| № обр. | К-712-2 | К-712-3 | К-712-4 | К-712-5 | К-712-6 | К-712-7 | К-712-8 | К-713А-2 | К-713А-5 | К-713А-6 | К-713А-9 | К-713А-11 | К-713А-12 | К-713А-15 | К-713А-16 | |
|--|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|--|
| SiO ₂ | 0,05 | 0,06 | 0,03 | 0,04 | 0,06 | 0,06 | 0,04 | 0,48 | 0,04 | 0,04 | 0,05 | 0,06 | 0,03 | 0,05 | 0,02 | |
| MgO | 10,64 | 10,14 | 10,47 | 12,95 | 11,60 | 10,79 | 10,68 | 11,26 | 10,59 | 10,43 | 12,32 | 12,41 | 13,50 | 11,65 | 11,40 | |
| Al ₂ O ₃ | 13,13 | 12,75 | 13,34 | 14,20 | 12,15 | 12,91 | 13,05 | 12,47 | 11,92 | 10,12 | 13,01 | 13,27 | 12,69 | 13,48 | 12,73 | |
| Cr ₂ O ₃ | 51,97 | 53,68 | 53,03 | 54,03 | 52,58 | 51,91 | 52,73 | 52,89 | 54,42 | 53,63 | 53,34 | 53,98 | 56,62 | 53,56 | 54,50 | |
| FeO | 22,35 | 22,22 | 22,02 | 17,82 | 22,46 | 23,49 | 21,94 | 20,02 | 21,76 | 24,06 | 20,04 | 18,46 | 16,29 | 19,90 | 20,33 | |
| ZnO | 0,15 | 0,05 | 0,00 | 0,05 | 0,05 | 0,19 | 0,21 | 0,14 | 0,04 | 0,03 | 0,00 | 0,03 | 0,06 | 0,07 | 0,00 | |
| TiO ₂ | 0,18 | 0,19 | 0,19 | 0,21 | 0,17 | 0,11 | 0,17 | 0,17 | 0,22 | 0,18 | 0,18 | 0,21 | 0,17 | 0,19 | 0,17 | |
| V ₂ O ₅ | 0,12 | 0,08 | 0,08 | 0,14 | 0,10 | 0,05 | 0,12 | 0,10 | 0,10 | 0,09 | 0,09 | 0,14 | 0,09 | 0,12 | 0,14 | |
| MnO | 0,43 | 0,27 | 0,26 | 0,25 | 0,26 | 0,29 | 0,19 | 0,43 | 0,45 | 0,43 | 0,34 | 0,40 | 0,29 | 0,44 | 0,42 | |
| NiO | 0,00 | 0,04 | 0,11 | 0,14 | 0,18 | 0,05 | 0,12 | 0,09 | 0,10 | 0,08 | 0,11 | 0,12 | 0,12 | 0,09 | 0,00 | |
| CoO | 0,20 | 0,05 | 0,08 | 0,10 | 0,02 | 0,11 | 0,06 | 0,08 | 0,07 | 0,03 | 0,04 | 0,03 | 0,10 | 0,00 | 0,14 | |
| Сумма | 99,22 | 99,53 | 99,61 | 99,93 | 99,63 | 99,96 | 99,31 | 98,13 | 99,71 | 99,12 | 99,52 | 99,11 | 99,96 | 99,55 | 99,85 | |
| Формульные коэффициенты в расчете на 3 катиона | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Mg | 0,52 | 0,49 | 0,51 | 0,61 | 0,56 | 0,52 | 0,52 | 0,55 | 0,52 | 0,51 | 0,59 | 0,60 | 0,64 | 0,56 | 0,55 | |
| Al | 0,50 | 0,49 | 0,51 | 0,53 | 0,46 | 0,49 | 0,50 | 0,49 | 0,46 | 0,39 | 0,49 | 0,50 | 0,48 | 0,51 | 0,49 | |
| Cr | 1,34 | 1,39 | 1,36 | 1,36 | 1,35 | 1,33 | 1,36 | 1,38 | 1,41 | 1,40 | 1,36 | 1,38 | 1,43 | 1,37 | 1,39 | |
| Fe | 0,61 | 0,61 | 0,60 | 0,47 | 0,61 | 0,64 | 0,60 | 0,55 | 0,59 | 0,67 | 0,54 | 0,50 | 0,43 | 0,54 | 0,55 | |
| Zn | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |
| Ti | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |
| V | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |
| Mn | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | |
| Ni | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |
| Co | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |
| Fe ²⁺ | 0,46 | 0,49 | 0,48 | 0,37 | 0,43 | 0,46 | 0,47 | 0,43 | 0,47 | 0,47 | 0,40 | 0,39 | 0,34 | 0,42 | 0,44 | |
| Fe ³⁺ | 0,15 | 0,11 | 0,12 | 0,10 | 0,18 | 0,17 | 0,13 | 0,13 | 0,13 | 0,20 | 0,14 | 0,11 | 0,09 | 0,11 | 0,11 | |
| Cr# | 0,73 | 0,74 | 0,73 | 0,72 | 0,74 | 0,73 | 0,73 | 0,74 | 0,75 | 0,78 | 0,73 | 0,73 | 0,75 | 0,73 | 0,74 | |
| Fe ³⁺ # | 0,24 | 0,19 | 0,20 | 0,21 | 0,30 | 0,27 | 0,22 | 0,23 | 0,22 | 0,29 | 0,27 | 0,22 | 0,21 | 0,21 | 0,21 | |
| f | 0,47 | 0,50 | 0,49 | 0,38 | 0,43 | 0,47 | 0,47 | 0,43 | 0,47 | 0,48 | 0,40 | 0,39 | 0,35 | 0,43 | 0,44 | |

| № обр. | K-713A-18 | K-713A-20 | K-713A-27 | K-723-2 | K-725-2 | K-725-3 | K-725-5 | K-725-6 | K-726-3 | K-726-4 | K-726-6 | K-726-7 | K-726-8 | K-726-10 | K-726-12 |
|--|-----------|-----------|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|
| SiO ₂ | 0,04 | 0,06 | 0,02 | 0,03 | 0,06 | 0,05 | 0,03 | 0,18 | 0,06 | 0,03 | 0,03 | 0,01 | 0,06 | 0,05 | 0,00 |
| MgO | 11,37 | 10,24 | 10,46 | 3,26 | 11,40 | 11,22 | 8,51 | 4,32 | 10,42 | 10,71 | 10,51 | 10,00 | 11,78 | 12,12 | 12,57 |
| Al ₂ O ₃ | 13,17 | 10,74 | 12,61 | 2,40 | 13,30 | 13,44 | 12,83 | 5,42 | 13,90 | 14,25 | 13,30 | 11,03 | 14,48 | 12,64 | 12,38 |
| Cr ₂ O ₃ | 53,86 | 53,34 | 52,59 | 42,92 | 53,65 | 53,42 | 52,35 | 50,87 | 52,33 | 53,15 | 52,87 | 51,68 | 51,92 | 54,69 | 54,20 |
| FeO | 19,96 | 24,51 | 22,59 | 47,51 | 19,49 | 20,39 | 25,08 | 37,30 | 21,85 | 20,90 | 22,21 | 24,53 | 19,45 | 19,66 | 19,60 |
| ZnO | 0,18 | 0,07 | 0,20 | 0,28 | 0,00 | 0,12 | 0,09 | 0,11 | 0,13 | 0,10 | 0,13 | 0,06 | 0,00 | 0,13 | 0,07 |
| TiO ₂ | 0,19 | 0,17 | 0,18 | 0,26 | 0,19 | 0,20 | 0,17 | 0,22 | 0,17 | 0,16 | 0,18 | 0,19 | 0,14 | 0,22 | 0,17 |
| V ₂ O ₃ | 0,08 | 0,08 | 0,11 | 0,23 | 0,13 | 0,09 | 0,05 | 0,08 | 0,15 | 0,03 | 0,17 | 0,15 | 0,11 | 0,11 | 0,10 |
| MnO | 0,48 | 0,45 | 0,44 | 0,75 | 0,42 | 0,46 | 0,49 | 0,68 | 0,30 | 0,28 | 0,21 | 0,37 | 0,27 | 0,14 | 0,20 |
| NiO | 0,12 | 0,08 | 0,12 | 0,30 | 0,08 | 0,08 | 0,07 | 0,07 | 0,14 | 0,06 | 0,05 | 0,11 | 0,09 | 0,00 | 0,13 |
| CoO | 0,06 | 0,07 | 0,02 | 0,12 | 0,10 | 0,10 | 0,19 | 0,06 | 0,11 | 0,13 | 0,13 | 0,03 | 0,06 | 0,04 | 0,04 |
| Сумма | 99,51 | 99,81 | 99,33 | 98,06 | 98,82 | 99,57 | 99,86 | 99,31 | 99,56 | 99,80 | 99,79 | 98,16 | 98,36 | 99,80 | 99,46 |
| Формульные коэффициенты в расчете на 3 катиона | | | | | | | | | | | | | | | |
| Mg | 0,55 | 0,50 | 0,51 | 0,18 | 0,55 | 0,54 | 0,42 | 0,23 | 0,50 | 0,52 | 0,51 | 0,50 | 0,57 | 0,58 | 0,60 |
| Al | 0,50 | 0,42 | 0,49 | 0,10 | 0,51 | 0,51 | 0,50 | 0,22 | 0,53 | 0,54 | 0,51 | 0,43 | 0,55 | 0,48 | 0,47 |
| Cr | 1,38 | 1,39 | 1,36 | 1,23 | 1,38 | 1,37 | 1,36 | 1,42 | 1,34 | 1,36 | 1,36 | 1,36 | 1,33 | 1,39 | 1,38 |
| Fe | 0,54 | 0,67 | 0,62 | 1,44 | 0,53 | 0,55 | 0,69 | 1,10 | 0,59 | 0,56 | 0,60 | 0,68 | 0,53 | 0,53 | 0,53 |
| Zn | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Ti | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,00 |
| V | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Mn | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,00 | 0,01 |
| Ni | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Co | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Fe ²⁺ | 0,43 | 0,48 | 0,47 | 0,78 | 0,43 | 0,44 | 0,56 | 0,75 | 0,48 | 0,47 | 0,48 | 0,49 | 0,42 | 0,41 | 0,38 |
| Fe ³⁺ | 0,11 | 0,19 | 0,15 | 0,66 | 0,10 | 0,11 | 0,13 | 0,35 | 0,12 | 0,10 | 0,13 | 0,20 | 0,11 | 0,12 | 0,14 |
| Cr# | 0,73 | 0,77 | 0,74 | 0,92 | 0,73 | 0,73 | 0,73 | 0,86 | 0,72 | 0,71 | 0,73 | 0,76 | 0,71 | 0,74 | 0,75 |
| Fe ³⁺ # | 0,21 | 0,29 | 0,24 | 0,46 | 0,19 | 0,21 | 0,19 | 0,32 | 0,20 | 0,17 | 0,21 | 0,29 | 0,21 | 0,23 | 0,27 |
| f | 0,44 | 0,49 | 0,48 | 0,82 | 0,44 | 0,45 | 0,57 | 0,77 | 0,49 | 0,48 | 0,48 | 0,50 | 0,42 | 0,41 | 0,39 |

Продолжение прилож. 1

| № обр. | К-726-13 | К-726-14 | К-726-15 | К-726-16 | К-726-17 | К-742-4 | К-742-14 | К-742-16 | К-742-17 | К-742-23 | К-742-25 | К-742P-2 | К-742P-3 | К-742P-4 | К-742P-8 |
|--|----------|----------|----------|----------|----------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| SiO ₂ | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,05 | 0,06 | 0,03 | 0,04 | 0,02 | 0,05 | 0,00 | 0,03 | 0,07 | 0,02 | 0,04 | 0,06 |
| MgO | 12,70 | 11,14 | 10,73 | 13,41 | 13,14 | 13,36 | 14,54 | 14,51 | 9,34 | 10,29 | 11,76 | 9,43 | 8,16 | 9,62 | 11,58 |
| Al ₂ O ₃ | 12,80 | 12,62 | 13,59 | 13,48 | 13,66 | 13,38 | 13,73 | 13,80 | 13,41 | 12,67 | 12,18 | 11,93 | 10,37 | 12,40 | 13,25 |
| Cr ₂ O ₃ | 55,06 | 54,15 | 52,49 | 54,99 | 54,40 | 55,40 | 54,57 | 55,30 | 52,43 | 53,11 | 55,29 | 52,35 | 50,17 | 52,53 | 53,59 |
| FeO | 18,52 | 21,08 | 21,64 | 16,94 | 17,45 | 16,54 | 15,86 | 15,47 | 22,96 | 22,54 | 19,94 | 23,66 | 27,10 | 23,06 | 19,93 |
| ZnO | 0,00 | 0,20 | 0,06 | 0,02 | 0,09 | 0,13 | 0,07 | 0,00 | 0,24 | 0,13 | 0,00 | 0,18 | 0,14 | 0,11 | 0,02 |
| TiO ₂ | 0,22 | 0,20 | 0,21 | 0,17 | 0,17 | 0,19 | 0,22 | 0,19 | 0,20 | 0,14 | 0,17 | 0,16 | 0,14 | 0,18 | 0,18 |
| V ₂ O ₃ | 0,13 | 0,05 | 0,08 | 0,16 | 0,09 | 0,05 | 0,15 | 0,04 | 0,10 | 0,11 | 0,09 | 0,08 | 0,07 | 0,12 | 0,08 |
| MnO | 0,27 | 0,32 | 0,39 | 0,20 | 0,24 | 0,24 | 0,23 | 0,14 | 0,36 | 0,32 | 0,27 | 0,48 | 0,51 | 0,46 | 0,39 |
| NiO | 0,07 | 0,10 | 0,00 | 0,00 | 0,17 | 0,12 | 0,10 | 0,14 | 0,11 | 0,06 | 0,09 | 0,10 | 0,07 | 0,05 | 0,08 |
| CoO | 0,01 | 0,00 | 0,07 | 0,03 | 0,06 | 0,00 | 0,08 | 0,01 | 0,28 | 0,05 | 0,00 | 0,09 | 0,17 | 0,12 | 0,10 |
| Сумма | 99,82 | 99,90 | 99,30 | 99,45 | 99,53 | 99,44 | 99,59 | 99,62 | 99,48 | 99,42 | 99,82 | 98,53 | 96,92 | 98,69 | 99,26 |
| Формульные коэффициенты в расчете на 3 катиона | | | | | | | | | | | | | | | |
| Mg | 0,61 | 0,54 | 0,52 | 0,64 | 0,63 | 0,64 | 0,68 | 0,68 | 0,46 | 0,50 | 0,57 | 0,47 | 0,42 | 0,47 | 0,56 |
| Al | 0,48 | 0,48 | 0,52 | 0,51 | 0,51 | 0,50 | 0,51 | 0,51 | 0,52 | 0,49 | 0,46 | 0,47 | 0,42 | 0,48 | 0,51 |
| Cr | 1,40 | 1,39 | 1,35 | 1,39 | 1,37 | 1,40 | 1,36 | 1,38 | 1,36 | 1,37 | 1,41 | 1,38 | 1,36 | 1,38 | 1,37 |
| Fe | 0,50 | 0,57 | 0,59 | 0,45 | 0,47 | 0,44 | 0,42 | 0,41 | 0,63 | 0,62 | 0,54 | 0,66 | 0,78 | 0,64 | 0,54 |
| Zn | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Ti | 0,01 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| V | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Mn | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,00 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| Ni | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Co | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Fe ²⁺ | 0,38 | 0,45 | 0,47 | 0,36 | 0,36 | 0,35 | 0,30 | 0,31 | 0,52 | 0,48 | 0,42 | 0,51 | 0,56 | 0,51 | 0,42 |
| Fe ³⁺ | 0,11 | 0,13 | 0,12 | 0,10 | 0,11 | 0,09 | 0,12 | 0,10 | 0,11 | 0,13 | 0,12 | 0,15 | 0,22 | 0,13 | 0,12 |
| Cr# | 0,74 | 0,74 | 0,72 | 0,73 | 0,73 | 0,74 | 0,73 | 0,73 | 0,72 | 0,74 | 0,75 | 0,75 | 0,76 | 0,74 | 0,73 |
| Fe ³⁺ # | 0,23 | 0,22 | 0,21 | 0,21 | 0,23 | 0,21 | 0,28 | 0,24 | 0,18 | 0,22 | 0,21 | 0,23 | 0,28 | 0,21 | 0,21 |
| f | 0,39 | 0,45 | 0,47 | 0,36 | 0,37 | 0,36 | 0,31 | 0,31 | 0,53 | 0,49 | 0,43 | 0,52 | 0,57 | 0,52 | 0,43 |

| № обр. | К-742Р-9 | К-742Р-10 | К-742Р-12 | К-742Р-14 | К-742Р-15 | К-743-2 | К-743-4 | К-743-7 | Е-2010/2 | Е-2010/3 | Е-2010/4 | Е-2010/5 | Е-2010/7 | Е-2010/8 | Е-2010/9 |
|--|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| SiO ₂ | 0,05 | 0,03 | 0,07 | 0,02 | 0,04 | 0,05 | 0,06 | 0,04 | 0,07 | 0,08 | 0,10 | 0,06 | 0,04 | 0,09 | 0,04 |
| MgO | 10,37 | 12,93 | 11,32 | 13,54 | 10,38 | 8,41 | 4,47 | 10,10 | 7,57 | 6,66 | 7,86 | 7,86 | 8,65 | 8,28 | 9,71 |
| Al ₂ O ₃ | 12,43 | 12,91 | 13,07 | 13,58 | 13,14 | 9,97 | 2,55 | 12,19 | 12,39 | 11,82 | 12,75 | 12,13 | 13,12 | 12,59 | 14,45 |
| Cr ₂ O ₃ | 53,27 | 53,85 | 53,69 | 54,64 | 52,58 | 51,20 | 56,26 | 52,87 | 52,79 | 49,87 | 49,24 | 50,52 | 51,53 | 52,42 | 50,97 |
| FeO | 21,77 | 18,12 | 20,32 | 16,85 | 22,36 | 27,38 | 34,23 | 22,76 | 25,06 | 29,35 | 27,24 | 26,76 | 24,94 | 24,71 | 22,20 |
| ZnO | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,07 | 0,36 | 0,10 | 0,24 | 0,24 | 0,34 | 0,21 | 0,12 | 0,15 | 0,30 | 0,18 | 0,05 |
| TiO ₂ | 0,19 | 0,17 | 0,20 | 0,20 | 0,19 | 0,11 | 0,14 | 0,18 | 0,17 | 0,18 | 0,15 | 0,16 | 0,15 | 0,16 | 0,19 |
| V ₂ O ₃ | 0,16 | 0,05 | 0,06 | 0,09 | 0,10 | 0,15 | 0,27 | 0,08 | 0,16 | 0,17 | 0,06 | 0,12 | 0,12 | 0,16 | 0,16 |
| MnO | 0,46 | 0,34 | 0,43 | 0,25 | 0,26 | 0,58 | 0,69 | 0,47 | 0,39 | 0,47 | 0,47 | 0,36 | 0,31 | 0,41 | 0,36 |
| NiO | 0,05 | 0,07 | 0,11 | 0,09 | 0,06 | 0,11 | 0,02 | 0,09 | 0,12 | 0,11 | 0,09 | 0,10 | 0,01 | 0,03 | 0,04 |
| CoO | 0,01 | 0,14 | 0,10 | 0,11 | 0,11 | 0,11 | 0,12 | 0,07 | 0,13 | 0,09 | 0,13 | 0,19 | 0,09 | 0,10 | 0,18 |
| Сумма | 98,76 | 98,61 | 99,37 | 99,44 | 99,58 | 98,17 | 99,05 | 99,09 | 99,19 | 99,01 | 98,21 | 98,41 | 99,26 | 99,13 | 98,35 |
| Формульные коэффициенты в расчете на 3 катиона | | | | | | | | | | | | | | | |
| Mg | 0,51 | 0,62 | 0,55 | 0,64 | 0,50 | 0,42 | 0,24 | 0,50 | 0,38 | 0,34 | 0,39 | 0,39 | 0,43 | 0,41 | 0,48 |
| Al | 0,48 | 0,49 | 0,50 | 0,51 | 0,50 | 0,40 | 0,11 | 0,47 | 0,49 | 0,47 | 0,50 | 0,48 | 0,51 | 0,49 | 0,56 |
| Cr | 1,39 | 1,38 | 1,38 | 1,38 | 1,35 | 1,37 | 1,59 | 1,38 | 1,40 | 1,33 | 1,31 | 1,34 | 1,35 | 1,38 | 1,33 |
| Fe | 0,60 | 0,49 | 0,55 | 0,45 | 0,61 | 0,78 | 1,02 | 0,63 | 0,70 | 0,83 | 0,77 | 0,75 | 0,69 | 0,69 | 0,61 |
| Zn | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 |
| Ti | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| V | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Mn | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| Ni | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Co | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Fe ²⁺ | 0,48 | 0,36 | 0,44 | 0,34 | 0,48 | 0,55 | 0,73 | 0,48 | 0,60 | 0,64 | 0,58 | 0,58 | 0,55 | 0,57 | 0,51 |
| Fe ³⁺ | 0,12 | 0,13 | 0,12 | 0,11 | 0,13 | 0,22 | 0,29 | 0,15 | 0,11 | 0,19 | 0,18 | 0,17 | 0,13 | 0,12 | 0,10 |
| Cr# | 0,74 | 0,74 | 0,73 | 0,73 | 0,73 | 0,78 | 0,94 | 0,74 | 0,74 | 0,74 | 0,72 | 0,74 | 0,72 | 0,74 | 0,70 |
| Fe ³⁺ # | 0,20 | 0,26 | 0,21 | 0,24 | 0,22 | 0,29 | 0,29 | 0,23 | 0,15 | 0,23 | 0,24 | 0,22 | 0,20 | 0,17 | 0,17 |
| f | 0,48 | 0,37 | 0,44 | 0,35 | 0,49 | 0,56 | 0,75 | 0,49 | 0,61 | 0,66 | 0,60 | 0,60 | 0,57 | 0,58 | 0,52 |

Продолжение прилож. 1

| № обр. | E-2010/10 | E-2011/3 | E-2011/4 | E-2011/5 | E-2011/8 | E-2012/1 | E-2012/2 в/вкр | E-2012/3 | E-2012/4 | E-2012/5 | E-2012/6 | E-2012/8 | E-2012/9 | ПП-50 ц |
|--|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|
| SiO ₂ | 0,08 | 0,00 | 0,04 | 0,05 | 0,02 | 0,04 | 0,06 | 0,01 | 0,12 | 0,03 | 0,04 | 0,08 | 0,01 | 0,10 |
| MgO | 8,87 | 3,59 | 5,77 | 7,69 | 8,32 | 10,25 | 12,80 | 10,85 | 6,43 | 10,52 | 14,30 | 6,27 | 8,55 | 5,97 |
| Al ₂ O ₃ | 12,73 | 1,89 | 10,57 | 11,26 | 13,10 | 13,57 | 13,33 | 13,64 | 3,27 | 14,54 | 12,43 | 10,34 | 14,18 | 4,53 |
| Cr ₂ O ₃ | 51,92 | 55,26 | 48,65 | 51,59 | 50,55 | 52,33 | 54,39 | 52,28 | 57,66 | 52,62 | 56,04 | 47,41 | 49,99 | 57,78 |
| FeO | 24,27 | 36,19 | 32,35 | 27,61 | 25,72 | 21,58 | 17,89 | 21,58 | 29,95 | 20,76 | 15,51 | 33,02 | 24,91 | 29,50 |
| ZnO | 0,00 | 0,33 | 0,21 | 0,37 | 0,42 | 0,24 | 0,00 | 0,12 | 0,09 | 0,11 | 0,02 | 0,28 | 0,40 | 0,29 |
| TiO ₂ | 0,22 | 0,26 | 0,12 | 0,07 | 0,18 | 0,17 | 0,23 | 0,21 | 0,26 | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 0,19 | 0,04 |
| V ₂ O ₃ | 0,06 | 0,26 | 0,19 | 0,08 | 0,24 | 0,12 | 0,09 | 0,15 | 0,17 | 0,07 | 0,09 | 0,15 | 0,16 | 0,19 |
| MnO | 0,34 | 0,38 | 0,47 | 0,40 | 0,35 | 0,38 | 0,26 | 0,33 | 0,59 | 0,38 | 0,27 | 0,45 | 0,42 | 0,46 |
| NiO | 0,07 | 0,01 | 0,07 | 0,06 | 0,09 | 0,13 | 0,04 | 0,13 | 0,15 | 0,04 | 0,06 | 0,15 | 0,03 | 0,00 |
| CoO | 0,11 | 0,17 | 0,06 | 0,10 | 0,14 | 0,00 | 0,07 | 0,00 | 0,03 | 0,06 | 0,08 | 0,16 | 0,00 | 0,00 |
| Сумма | 98,67 | 98,34 | 98,50 | 99,28 | 99,13 | 98,81 | 99,16 | 99,43 | 98,72 | 99,33 | 99,04 | 98,51 | 98,84 | 98,86 |
| Формульные коэффициенты в расчете на 3 катгона | | | | | | | | | | | | | | |
| Mg | 0,44 | 0,19 | 0,29 | 0,38 | 0,41 | 0,50 | 0,61 | 0,65 | 0,34 | 0,51 | 0,68 | 0,32 | 0,42 | 0,31 |
| Al | 0,50 | 0,08 | 0,43 | 0,44 | 0,51 | 0,52 | 0,51 | 0,51 | 0,14 | 0,56 | 0,47 | 0,42 | 0,55 | 0,19 |
| Cr | 1,37 | 1,59 | 1,32 | 1,37 | 1,33 | 1,36 | 1,38 | 1,38 | 1,61 | 1,35 | 1,42 | 1,28 | 1,31 | 1,61 |
| Fe | 0,67 | 1,10 | 0,93 | 0,77 | 0,71 | 0,59 | 0,48 | 0,44 | 0,88 | 0,56 | 0,41 | 0,94 | 0,69 | 0,87 |
| Zn | 0,00 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| Ti | 0,01 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 |
| V | 0,00 | 0,01 | 0,01 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 |
| Mn | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| Ni | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Co | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Fe ²⁺ | 0,55 | 0,78 | 0,68 | 0,59 | 0,56 | 0,48 | 0,38 | 0,34 | 0,64 | 0,48 | 0,31 | 0,65 | 0,56 | 0,67 |
| Fe ³⁺ | 0,13 | 0,32 | 0,25 | 0,18 | 0,15 | 0,11 | 0,10 | 0,10 | 0,25 | 0,09 | 0,11 | 0,29 | 0,13 | 0,20 |
| Cr# | 0,73 | 0,95 | 0,76 | 0,75 | 0,72 | 0,72 | 0,73 | 0,73 | 0,92 | 0,71 | 0,75 | 0,75 | 0,70 | 0,90 |
| Fe ³⁺ # | 0,19 | 0,29 | 0,26 | 0,24 | 0,21 | 0,19 | 0,22 | 0,23 | 0,28 | 0,16 | 0,26 | 0,31 | 0,19 | 0,23 |
| f | 0,55 | 0,80 | 0,70 | 0,61 | 0,58 | 0,49 | 0,38 | 0,34 | 0,65 | 0,48 | 0,31 | 0,67 | 0,57 | 0,68 |

| №.обр. | E-217/2 | E-217/3 | E-217/4 | E-217/5 | E-217/8 | E-217/9 | E-217/10 | E-217/11 | E-217/12 | E-217/13 | E-217/14 | E-217/15 | E-222/11к | E-222/14к | E-222/14к | |
|--|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-------|
| SiO ₂ | 0,07 | 0,05 | 0,03 | 0,03 | 0,05 | 0,07 | 0,05 | 0,07 | 0,04 | 0,06 | 0,05 | 0,10 | 0,06 | 0,02 | 0,06 | |
| MgO | 13,14 | 13,70 | 12,81 | 12,71 | 11,53 | 13,26 | 14,23 | 14,09 | 12,75 | 13,81 | 13,27 | 13,11 | 13,54 | 14,44 | 14,32 | |
| Al ₂ O ₃ | 10,35 | 10,02 | 9,43 | 9,32 | 9,45 | 9,94 | 10,11 | 9,69 | 9,87 | 10,05 | 9,75 | 9,41 | 8,86 | 9,18 | 9,22 | |
| Cr ₂ O ₃ | 57,89 | 59,15 | 58,79 | 59,42 | 58,21 | 59,84 | 60,62 | 60,66 | 59,37 | 59,32 | 59,08 | 59,08 | 61,19 | 61,20 | 61,34 | |
| FeO | 17,34 | 16,12 | 17,73 | 17,56 | 20,02 | 16,23 | 14,17 | 14,52 | 17,09 | 15,87 | 17,01 | 17,44 | 15,00 | 14,14 | 13,93 | |
| ZnO | 0,01 | 0,15 | 0,12 | 0,14 | 0,02 | 0,00 | 0,07 | 0,04 | 0,12 | 0,05 | 0,10 | 0,04 | 0,16 | 0,00 | 0,03 | |
| TiO ₂ | 0,14 | 0,10 | 0,13 | 0,12 | 0,11 | 0,12 | 0,16 | 0,13 | 0,11 | 0,13 | 0,13 | 0,12 | 0,09 | 0,10 | 0,12 | |
| V ₂ O ₃ | 0,04 | 0,22 | 0,08 | 0,08 | 0,04 | 0,05 | 0,14 | 0,07 | 0,18 | 0,10 | 0,08 | 0,09 | 0,09 | 0,15 | 0,12 | |
| MnO | 0,33 | 0,29 | 0,35 | 0,35 | 0,41 | 0,31 | 0,28 | 0,27 | 0,29 | 0,32 | 0,33 | 0,32 | 0,22 | 0,31 | 0,18 | |
| NiO | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,08 | 0,15 | 0,13 | |
| CoO | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |
| Сумма | 99,76 | 100,22 | 99,94 | 100,16 | 100,32 | 100,15 | 100,10 | 99,84 | 100,19 | 100,11 | 100,24 | 100,17 | 99,29 | 99,51 | 99,69 | 99,45 |
| Формульные коэффициенты в расчете на 3 катиона | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Mg | 0,64 | 0,66 | 0,62 | 0,62 | 0,56 | 0,64 | 0,68 | 0,68 | 0,62 | 0,66 | 0,64 | 0,63 | 0,66 | 0,69 | 0,69 | 0,69 |
| Al | 0,40 | 0,38 | 0,36 | 0,36 | 0,36 | 0,38 | 0,38 | 0,37 | 0,38 | 0,38 | 0,37 | 0,36 | 0,34 | 0,35 | 0,35 | 0,35 |
| Cr | 1,48 | 1,51 | 1,51 | 1,53 | 1,51 | 1,53 | 1,54 | 1,55 | 1,52 | 1,51 | 1,51 | 1,52 | 1,58 | 1,56 | 1,57 | 1,57 |
| Fe | 0,47 | 0,43 | 0,48 | 0,48 | 0,55 | 0,44 | 0,38 | 0,39 | 0,46 | 0,43 | 0,46 | 0,47 | 0,41 | 0,42 | 0,38 | 0,38 |
| Zn | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Ti | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| V | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Mn | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| Ni | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Co | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Fe ²⁺ | 0,36 | 0,33 | 0,37 | 0,37 | 0,43 | 0,35 | 0,31 | 0,31 | 0,37 | 0,33 | 0,35 | 0,36 | 0,33 | 0,33 | 0,29 | 0,30 |
| Fe ³⁺ | 0,12 | 0,10 | 0,12 | 0,11 | 0,12 | 0,09 | 0,07 | 0,08 | 0,09 | 0,10 | 0,11 | 0,12 | 0,08 | 0,09 | 0,09 | 0,08 |
| Cr# | 0,79 | 0,80 | 0,81 | 0,81 | 0,81 | 0,80 | 0,80 | 0,81 | 0,80 | 0,80 | 0,80 | 0,81 | 0,82 | 0,82 | 0,82 | 0,82 |
| Fe ³⁺ # | 0,24 | 0,24 | 0,24 | 0,23 | 0,23 | 0,20 | 0,19 | 0,20 | 0,20 | 0,24 | 0,24 | 0,25 | 0,19 | 0,22 | 0,23 | 0,20 |
| f | 0,36 | 0,33 | 0,37 | 0,38 | 0,43 | 0,36 | 0,31 | 0,32 | 0,38 | 0,33 | 0,35 | 0,36 | 0,33 | 0,33 | 0,30 | 0,30 |

Продолжение прилож. 1

| № обр. | РШ-50 к | РШ-64 ц | РШ-64 к | РШ-67 ц | РШ-67 к | РШ-69 ц | РШ-69 к | РШ-70 ц | РШ-70 к | РШ-71 ц | РШ-71 к | РШ-72А ц | РШ-72А к | РШ-92 ц | РШ-92 к |
|--|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|---------|---------|
| SiO ₂ | 0,05 | 0,05 | 0,07 | 0,06 | 0,04 | 0,06 | 0,06 | 0,02 | 0,06 | 0,07 | 0,08 | 0,09 | 0,01 | 0,05 | 0,06 |
| MgO | 5,31 | 11,12 | 10,80 | 13,73 | 13,53 | 14,28 | 12,93 | 13,33 | 12,93 | 4,28 | 5,00 | 13,56 | 13,50 | 9,69 | 10,29 |
| Al ₂ O ₃ | 4,65 | 8,01 | 7,12 | 8,37 | 8,61 | 10,60 | 8,49 | 8,49 | 8,47 | 4,46 | 4,68 | 9,21 | 9,00 | 6,33 | 6,36 |
| Cr ₂ O ₃ | 57,35 | 58,87 | 58,67 | 61,15 | 61,29 | 58,54 | 62,25 | 62,25 | 62,11 | 43,92 | 55,04 | 59,08 | 59,30 | 56,41 | 58,64 |
| FeO | 29,92 | 20,23 | 21,85 | 15,17 | 15,53 | 14,95 | 14,27 | 14,27 | 14,45 | 42,31 | 32,44 | 16,26 | 16,18 | 24,77 | 22,15 |
| ZnO | 0,29 | 0,04 | 0,06 | 0,13 | 0,00 | 0,02 | 0,03 | 0,03 | 0,00 | 0,34 | 0,23 | 0,15 | 0,01 | 0,12 | 0,00 |
| TiO ₂ | 0,05 | 0,14 | 0,08 | 0,09 | 0,07 | 0,11 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,05 | 0,02 | 0,10 | 0,13 | 0,07 | 0,02 |
| V ₂ O ₃ | 0,16 | 0,15 | 0,14 | 0,11 | 0,11 | 0,12 | 0,07 | 0,07 | 0,08 | 0,11 | 0,02 | 0,14 | 0,12 | 0,11 | 0,14 |
| MnO | 0,49 | 0,28 | 0,34 | 0,27 | 0,20 | 0,17 | 0,19 | 0,19 | 0,18 | 0,48 | 0,52 | 0,20 | 0,21 | 0,46 | 0,38 |
| NiO | 0,04 | 0,07 | 0,06 | 0,07 | 0,09 | 0,10 | 0,08 | 0,08 | 0,12 | 0,16 | 0,08 | 0,09 | 0,14 | 0,08 | 0,05 |
| CoO | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Сумма | 98,31 | 98,96 | 99,19 | 99,15 | 99,47 | 98,95 | 98,83 | 98,83 | 98,50 | 96,18 | 98,11 | 98,88 | 98,60 | 98,09 | 98,09 |
| Формульные коэффициенты в расчете на 3 катиона | | | | | | | | | | | | | | | |
| Mg | 0,28 | 0,55 | 0,54 | 0,67 | 0,66 | 0,69 | 0,65 | 0,65 | 0,64 | 0,23 | 0,27 | 0,66 | 0,66 | 0,49 | 0,52 |
| Al | 0,19 | 0,31 | 0,28 | 0,32 | 0,33 | 0,40 | 0,33 | 0,33 | 0,33 | 0,19 | 0,20 | 0,35 | 0,35 | 0,25 | 0,25 |
| Cr | 1,61 | 1,55 | 1,55 | 1,58 | 1,58 | 1,49 | 1,62 | 1,62 | 1,62 | 1,26 | 1,55 | 1,52 | 1,53 | 1,52 | 1,58 |
| Fe | 0,89 | 0,56 | 0,61 | 0,41 | 0,42 | 0,40 | 0,39 | 0,40 | 0,40 | 1,28 | 0,97 | 0,44 | 0,44 | 0,71 | 0,63 |
| Zn | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Ti | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| V | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Mn | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,00 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| Ni | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Co | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Fe ²⁺ | 0,70 | 0,44 | 0,45 | 0,32 | 0,34 | 0,31 | 0,34 | 0,34 | 0,36 | 0,74 | 0,71 | 0,33 | 0,33 | 0,49 | 0,47 |
| Fe ³⁺ | 0,19 | 0,13 | 0,16 | 0,09 | 0,09 | 0,10 | 0,05 | 0,05 | 0,04 | 0,54 | 0,25 | 0,11 | 0,11 | 0,22 | 0,16 |
| Cr# | 0,89 | 0,83 | 0,85 | 0,83 | 0,83 | 0,79 | 0,83 | 0,83 | 0,83 | 0,87 | 0,89 | 0,81 | 0,82 | 0,86 | 0,86 |
| Fe ³⁺ # | 0,22 | 0,23 | 0,27 | 0,23 | 0,21 | 0,24 | 0,13 | 0,13 | 0,11 | 0,42 | 0,26 | 0,26 | 0,25 | 0,31 | 0,26 |
| f | 0,71 | 0,44 | 0,45 | 0,32 | 0,34 | 0,31 | 0,34 | 0,34 | 0,36 | 0,76 | 0,73 | 0,33 | 0,33 | 0,50 | 0,47 |

| № обр. | РШ-94, ц | РШ-94, к | РШ-96, ц | РШ-96, к | РШ-101, ц | РШ-101, к | РШ-104, ц | РШ-104, к | РШ-510-9 ц | РШ-510-9 к | РШ-510-19 ц | РШ-510-19 к | РШ-510-24 ц | РШ-510-24 к | РШ-510-24 к, акц |
|--|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------------|
| SiO ₂ | 0,04 | 0,05 | 0,06 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,06 | 0,06 | 0,05 | 0,00 | 0,02 | 0,06 | 0,03 | 0,04 | 0,07 |
| MgO | 13,63 | 13,16 | 12,66 | 8,93 | 8,93 | 9,00 | 13,15 | 13,09 | 5,42 | 4,70 | 3,02 | 2,78 | 11,89 | 11,91 | 8,68 |
| Al ₂ O ₃ | 8,25 | 7,43 | 7,30 | 6,95 | 6,95 | 7,11 | 8,36 | 8,44 | 5,00 | 4,93 | 0,91 | 0,60 | 9,16 | 9,41 | 7,47 |
| Cr ₂ O ₃ | 61,05 | 61,54 | 60,67 | 59,91 | 56,74 | 57,27 | 61,11 | 60,96 | 52,17 | 48,24 | 35,94 | 35,60 | 55,86 | 56,01 | 55,90 |
| FeO | 15,07 | 15,70 | 17,16 | 26,00 | 26,00 | 25,25 | 16,16 | 16,12 | 33,90 | 39,34 | 56,77 | 56,90 | 19,99 | 20,41 | 24,84 |
| ZnO | 0,11 | 0,00 | 0,17 | 0,01 | 0,23 | 0,19 | 0,15 | 0,07 | 0,36 | 0,16 | 0,06 | 0,00 | 0,16 | 0,19 | 0,13 |
| TiO ₂ | 0,09 | 0,06 | 0,09 | 0,09 | 0,10 | 0,11 | 0,13 | 0,07 | 0,04 | 0,18 | 0,17 | 0,14 | 0,14 | 0,15 | 0,12 |
| V ₂ O ₃ | 0,09 | 0,13 | 0,07 | 0,07 | 0,15 | 0,13 | 0,17 | 0,13 | 0,16 | 0,17 | 0,14 | 0,13 | 0,12 | 0,07 | 0,09 |
| MnO | 0,24 | 0,22 | 0,29 | 0,31 | 0,38 | 0,31 | 0,29 | 0,28 | 0,56 | 0,57 | 0,41 | 0,47 | 0,27 | 0,31 | 0,43 |
| NiO | 0,09 | 0,10 | 0,11 | 0,06 | 0,14 | 0,09 | 0,13 | 0,09 | 0,10 | 0,15 | 0,37 | 0,38 | 0,14 | 0,14 | 0,05 |
| CoO | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,21 | 0,09 | 0,09 | 0,08 | 0,15 | 0,10 | 0,05 | 0,13 | 0,02 | 0,06 | 0,12 |
| Сумма | 98,66 | 98,39 | 98,58 | 97,78 | 99,87 | 99,59 | 99,80 | 99,39 | 97,91 | 98,54 | 97,86 | 97,19 | 97,78 | 98,70 | 97,90 |
| Формульные коэффициенты в расчете на 3 катяона | | | | | | | | | | | | | | | |
| Mg | 0,67 | 0,65 | 0,63 | 0,62 | 0,45 | 0,45 | 0,64 | 0,64 | 0,29 | 0,25 | 0,16 | 0,15 | 0,59 | 0,59 | 0,44 |
| Al | 0,32 | 0,29 | 0,29 | 0,30 | 0,28 | 0,28 | 0,32 | 0,33 | 0,21 | 0,21 | 0,04 | 0,03 | 0,36 | 0,37 | 0,30 |
| Cr | 1,58 | 1,61 | 1,59 | 1,58 | 1,51 | 1,53 | 1,57 | 1,58 | 1,46 | 1,35 | 1,03 | 1,03 | 1,47 | 1,46 | 1,52 |
| Fe | 0,41 | 0,43 | 0,48 | 0,48 | 0,73 | 0,71 | 0,44 | 0,44 | 1,00 | 1,16 | 1,73 | 1,75 | 0,56 | 0,56 | 0,71 |
| Zn | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Ti | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| V | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Mn | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| Ni | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Co | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Fe ²⁺ | 0,32 | 0,34 | 0,36 | 0,37 | 0,53 | 0,53 | 0,34 | 0,35 | 0,68 | 0,72 | 0,81 | 0,82 | 0,39 | 0,40 | 0,54 |
| Fe ³⁺ | 0,09 | 0,09 | 0,12 | 0,11 | 0,21 | 0,18 | 0,10 | 0,09 | 0,32 | 0,44 | 0,92 | 0,93 | 0,16 | 0,17 | 0,18 |
| Cr# | 0,83 | 0,85 | 0,85 | 0,84 | 0,85 | 0,84 | 0,83 | 0,83 | 0,87 | 0,87 | 0,96 | 0,98 | 0,80 | 0,80 | 0,83 |
| Fe ^{3+#} | 0,22 | 0,22 | 0,25 | 0,24 | 0,28 | 0,26 | 0,22 | 0,21 | 0,32 | 0,38 | 0,53 | 0,53 | 0,29 | 0,30 | 0,25 |
| f | 0,33 | 0,34 | 0,36 | 0,37 | 0,54 | 0,54 | 0,35 | 0,35 | 0,70 | 0,75 | 0,83 | 0,84 | 0,40 | 0,40 | 0,55 |

Продолжение прилож. 1

| № обр. | ПП-510-24 ц_акц | 6-615-1 ц | 6-615-1 к | 6-630-2 ц | БП-3-600- 01-05 | БП-3-600- 02-04 | БП-8-600- 01-02 | БП-8-600- 01-04 | БП-8-600- 01-06 | БП-8-600- 01-07 | БП-8-600- 02-01 | У-18/1 | У-18/2 | У-51/1 | У-51/2 |
|---|--------------------|-----------|-----------|-----------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------|--------|--------|--------|
| SiO ₂ | 0,04 | 0,07 | 0,08 | 0,04 | 0,02 | 0,05 | 0,06 | 0,01 | 0,04 | 0,04 | 0,06 | 0,04 | 0,06 | 0,03 | 0,03 |
| MgO | 8,23 | 13,47 | 13,35 | 13,60 | 14,27 | 12,55 | 11,53 | 13,75 | 14,78 | 14,78 | 10,47 | 10,68 | 10,36 | 14,51 | 14,51 |
| Al ₂ O ₃ | 6,98 | 10,71 | 9,77 | 10,52 | 10,70 | 8,58 | 7,62 | 8,87 | 10,15 | 10,15 | 8,19 | 11,31 | 11,34 | 12,37 | 12,37 |
| Cr ₂ O ₃ | 55,93 | 57,40 | 58,31 | 58,77 | 58,41 | 60,56 | 60,64 | 60,07 | 59,95 | 59,95 | 59,52 | 55,63 | 55,52 | 58,15 | 58,15 |
| FeO | 25,63 | 16,40 | 16,41 | 15,91 | 15,39 | 17,12 | 18,86 | 16,17 | 14,16 | 14,16 | 20,94 | 20,20 | 20,59 | 13,77 | 13,77 |
| ZnO | 0,07 | 0,16 | 0,01 | 0,09 | 0,19 | 0,01 | 0,00 | 0,04 | 0,03 | 0,03 | 0,18 | 0,12 | 0,00 | 0,08 | 0,08 |
| TiO ₂ | 0,05 | 0,17 | 0,13 | 0,12 | 0,14 | 0,13 | 0,13 | 0,11 | 0,13 | 0,13 | 0,13 | 0,19 | 0,18 | 0,12 | 0,12 |
| V ₂ O ₃ | 0,10 | 0,11 | 0,12 | 0,09 | 0,06 | 0,09 | 0,07 | 0,04 | 0,12 | 0,12 | 0,03 | 0,00 | 0,11 | 0,12 | 0,12 |
| MnO | 0,46 | 0,21 | 0,20 | 0,33 | 0,19 | 0,26 | 0,29 | 0,24 | 0,20 | 0,20 | 0,35 | 0,38 | 0,35 | 0,17 | 0,17 |
| NiO | 0,07 | 0,11 | 0,12 | 0,04 | 0,17 | 0,07 | 0,09 | 0,19 | 0,09 | 0,09 | 0,06 | 0,03 | 0,07 | 0,21 | 0,21 |
| CoO | 0,11 | 0,00 | 0,04 | 0,00 | 0,15 | 0,12 | 0,00 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,07 | 0,02 | 0,03 | 0,11 | 0,11 |
| Сумма | 97,67 | 98,81 | 98,54 | 98,47 | 99,65 | 99,54 | 99,29 | 99,54 | 99,70 | 99,70 | 100,00 | 98,60 | 98,61 | 99,64 | 99,64 |
| Формульные коэффициенты в расчете на 3 катюна | | | | | | | | | | | | | | | |
| Mg | 0,42 | 0,65 | 0,65 | 0,61 | 0,65 | 0,68 | 0,57 | 0,66 | 0,71 | 0,71 | 0,52 | 0,53 | 0,51 | 0,69 | 0,69 |
| Al | 0,28 | 0,41 | 0,38 | 0,37 | 0,40 | 0,40 | 0,30 | 0,34 | 0,38 | 0,38 | 0,32 | 0,44 | 0,44 | 0,46 | 0,46 |
| Cr | 1,53 | 1,47 | 1,51 | 1,52 | 1,50 | 1,48 | 1,59 | 1,54 | 1,52 | 1,52 | 1,56 | 1,45 | 1,45 | 1,46 | 1,46 |
| Fe | 0,74 | 0,45 | 0,45 | 0,49 | 0,43 | 0,41 | 0,47 | 0,44 | 0,38 | 0,38 | 0,58 | 0,56 | 0,57 | 0,37 | 0,37 |
| Zn | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Ti | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| V | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Mn | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,00 | 0,00 |
| Ni | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,01 |
| Co | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Fe ²⁺ | 0,56 | 0,34 | 0,34 | 0,38 | 0,33 | 0,30 | 0,42 | 0,32 | 0,29 | 0,29 | 0,46 | 0,46 | 0,48 | 0,30 | 0,30 |
| Fe ³⁺ | 0,18 | 0,11 | 0,11 | 0,10 | 0,10 | 0,11 | 0,09 | 0,12 | 0,09 | 0,09 | 0,12 | 0,10 | 0,09 | 0,07 | 0,07 |
| Cr# | 0,84 | 0,78 | 0,80 | 0,80 | 0,79 | 0,79 | 0,83 | 0,82 | 0,80 | 0,80 | 0,83 | 0,77 | 0,77 | 0,76 | 0,76 |
| Fe ^{3+#} | 0,25 | 0,25 | 0,24 | 0,21 | 0,23 | 0,26 | 0,20 | 0,27 | 0,25 | 0,25 | 0,20 | 0,18 | 0,17 | 0,19 | 0,19 |
| f | 0,57 | 0,34 | 0,34 | 0,39 | 0,34 | 0,31 | 0,38 | 0,42 | 0,33 | 0,29 | 0,47 | 0,47 | 0,48 | 0,30 | 0,30 |

| № обр. | Y-51/2 | Y-53/1 | Y-54/1 | Y-59/2 | Y-64/2, c/ вкр | Y-64/2, y/ вкр | Y-94/1 | Y-94/3 | Y-94/4 | Y-95/1 | Y-101/1 | Y-130/1 | Y-162/1 | Y-167/2 | Y-187/8 |
|--|--------|--------|--------|--------|-------------------|-------------------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|
| SiO ₂ | 0,06 | 0,05 | 0,05 | 0,03 | 0,06 | 0,06 | 0,04 | 0,06 | 0,06 | 0,04 | 0,08 | 0,05 | 0,05 | 0,06 | 0,06 |
| MgO | 14,40 | 11,76 | 13,38 | 13,48 | 12,82 | 12,73 | 12,00 | 13,08 | 13,10 | 10,37 | 9,41 | 12,06 | 10,15 | 14,37 | 9,93 |
| Al ₂ O ₃ | 12,24 | 11,56 | 12,88 | 14,15 | 11,97 | 12,09 | 11,29 | 12,03 | 11,44 | 10,81 | 13,20 | 10,50 | 12,13 | 9,97 | 11,01 |
| Cr ₂ O ₃ | 58,48 | 56,91 | 56,48 | 54,23 | 57,23 | 56,53 | 57,39 | 57,47 | 58,08 | 58,15 | 51,08 | 56,61 | 45,86 | 59,45 | 55,71 |
| FeO | 13,62 | 18,24 | 15,39 | 16,45 | 16,39 | 17,02 | 18,34 | 16,69 | 16,63 | 19,57 | 24,83 | 19,77 | 30,33 | 14,84 | 22,08 |
| ZnO | 0,10 | 0,16 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,09 | 0,00 | 0,06 | 0,03 | 0,07 | 0,22 | 0,13 | 0,21 |
| TiO ₂ | 0,14 | 0,17 | 0,21 | 0,12 | 0,17 | 0,22 | 0,20 | 0,23 | 0,25 | 0,21 | 0,22 | 0,06 | 0,11 | 0,10 | 0,20 |
| V ₂ O ₃ | 0,03 | 0,16 | 0,15 | 0,14 | 0,14 | 0,12 | 0,08 | 0,09 | 0,09 | 0,01 | 0,15 | 0,16 | 0,11 | 0,07 | 0,08 |
| MnO | 0,17 | 0,32 | 0,23 | 0,20 | 0,26 | 0,23 | 0,26 | 0,24 | 0,24 | 0,28 | 0,38 | 0,29 | 0,42 | 0,21 | 0,44 |
| NiO | 0,15 | 0,13 | 0,11 | 0,10 | 0,06 | 0,07 | 0,02 | 0,14 | 0,06 | 0,05 | 0,11 | 0,10 | 0,14 | 0,15 | 0,09 |
| CoO | 0,03 | 0,00 | 0,08 | 0,09 | 0,13 | 0,06 | 0,00 | 0,02 | 0,03 | 0,10 | 0,04 | 0,03 | 0,11 | 0,04 | 0,17 |
| Сумма | 99,42 | 99,46 | 98,97 | 98,99 | 99,23 | 99,13 | 99,62 | 100,14 | 99,98 | 99,65 | 99,53 | 99,70 | 99,63 | 99,39 | 99,98 |
| Формульные коэффициенты в расчете на 3 катиона | | | | | | | | | | | | | | | |
| Mg | 0,69 | 0,57 | 0,64 | 0,64 | 0,62 | 0,61 | 0,58 | 0,62 | 0,63 | 0,51 | 0,46 | 0,58 | 0,49 | 0,69 | 0,49 |
| Al | 0,46 | 0,44 | 0,49 | 0,53 | 0,46 | 0,46 | 0,43 | 0,45 | 0,43 | 0,42 | 0,51 | 0,40 | 0,47 | 0,38 | 0,43 |
| Cr | 1,48 | 1,46 | 1,44 | 1,37 | 1,46 | 1,45 | 1,47 | 1,45 | 1,48 | 1,51 | 1,32 | 1,46 | 1,18 | 1,51 | 1,45 |
| Fe | 0,36 | 0,50 | 0,41 | 0,44 | 0,44 | 0,46 | 0,50 | 0,45 | 0,45 | 0,54 | 0,68 | 0,54 | 0,83 | 0,40 | 0,61 |
| Zn | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,01 |
| Ti | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| V | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Mn | 0,00 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| Ni | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Co | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Fe ²⁺ | 0,30 | 0,41 | 0,35 | 0,35 | 0,37 | 0,38 | 0,41 | 0,36 | 0,36 | 0,48 | 0,52 | 0,40 | 0,48 | 0,30 | 0,49 |
| Fe ³⁺ | 0,06 | 0,08 | 0,07 | 0,09 | 0,07 | 0,08 | 0,09 | 0,08 | 0,08 | 0,06 | 0,16 | 0,14 | 0,34 | 0,10 | 0,12 |
| Cr# | 0,76 | 0,77 | 0,75 | 0,72 | 0,76 | 0,76 | 0,77 | 0,76 | 0,77 | 0,78 | 0,72 | 0,78 | 0,72 | 0,80 | 0,77 |
| Fe ^{3+#} | 0,17 | 0,17 | 0,16 | 0,21 | 0,17 | 0,18 | 0,17 | 0,19 | 0,19 | 0,11 | 0,23 | 0,25 | 0,42 | 0,26 | 0,19 |
| f | 0,31 | 0,42 | 0,35 | 0,35 | 0,37 | 0,38 | 0,41 | 0,37 | 0,37 | 0,48 | 0,53 | 0,41 | 0,49 | 0,30 | 0,50 |

Продолжение прилож. 1

| № обр. | Y-188/1 | Y-189/1 | Y-190/1 | Y-195/6 | Y-201/1 | Y-201/3 | Y-205/2 | Y-261/4 | Y-300/5 к | Y-300/5 ц | Y-433/1 к | Y-434/4 ц | Y-434/4 к | Y-524/4 |
|--|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------|
| SiO ₂ | 0,06 | 0,02 | 0,05 | 0,08 | 0,05 | 0,04 | 0,05 | 0,02 | 0,68 | 0,22 | 0,07 | 0,04 | 0,03 | 0,02 |
| MgO | 10,22 | 10,56 | 11,30 | 10,26 | 12,73 | 10,24 | 11,44 | 13,83 | 10,19 | 9,33 | 12,83 | 13,11 | 13,02 | 12,26 |
| Al ₂ O ₃ | 12,95 | 11,55 | 11,05 | 10,80 | 8,98 | 9,07 | 14,09 | 10,87 | 7,70 | 7,78 | 12,93 | 12,24 | 12,05 | 11,12 |
| Cr ₂ O ₃ | 55,33 | 56,72 | 56,92 | 55,08 | 59,94 | 57,27 | 52,47 | 58,37 | 45,67 | 45,79 | 55,79 | 57,25 | 57,22 | 57,72 |
| FeO | 19,85 | 19,94 | 19,71 | 22,50 | 16,88 | 22,43 | 20,48 | 16,52 | 32,84 | 33,85 | 16,72 | 15,98 | 16,16 | 17,56 |
| ZnO | 0,30 | 0,00 | 0,00 | 0,25 | 0,13 | 0,09 | 0,00 | 0,04 | 0,13 | 0,01 | 0,00 | 0,31 | 0,08 | 0,00 |
| TiO ₂ | 0,23 | 0,25 | 0,18 | 0,20 | 0,19 | 0,12 | 0,26 | 0,11 | 0,14 | 0,17 | 0,08 | 0,18 | 0,18 | 0,19 |
| V ₂ O ₃ | 0,18 | 0,04 | 0,10 | 0,07 | 0,10 | 0,08 | 0,17 | 0,08 | 0,17 | 0,11 | 0,01 | 0,18 | 0,06 | 0,14 |
| MnO | 0,42 | 0,36 | 0,29 | 0,38 | 0,30 | 0,37 | 0,37 | 0,23 | 0,27 | 0,27 | 0,16 | 0,22 | 0,19 | 0,26 |
| NiO | 0,14 | 0,09 | 0,05 | 0,07 | 0,12 | 0,11 | 0,08 | 0,10 | 0,21 | 0,17 | 0,08 | 0,11 | 0,13 | 0,11 |
| CoO | 0,08 | 0,14 | 0,09 | 0,16 | 0,13 | 0,10 | 0,13 | 0,02 | 0,06 | 0,07 | 0,05 | 0,00 | 0,20 | 0,00 |
| Сумма | 99,76 | 99,67 | 99,74 | 99,85 | 99,55 | 99,92 | 99,54 | 100,19 | 98,06 | 97,77 | 98,72 | 99,62 | 99,32 | 99,38 |
| Формульные коэффициенты в расчете на 3 катиона | | | | | | | | | | | | | | |
| Mg | 0,50 | 0,52 | 0,55 | 0,50 | 0,62 | 0,50 | 0,55 | 0,66 | 0,51 | 0,47 | 0,62 | 0,63 | 0,63 | 0,59 |
| Al | 0,50 | 0,45 | 0,43 | 0,42 | 0,35 | 0,35 | 0,54 | 0,41 | 0,31 | 0,31 | 0,49 | 0,46 | 0,46 | 0,43 |
| Cr | 1,43 | 1,47 | 1,47 | 1,43 | 1,55 | 1,50 | 1,34 | 1,48 | 1,22 | 1,23 | 1,43 | 1,45 | 1,46 | 1,48 |
| Fe | 0,54 | 0,55 | 0,54 | 0,62 | 0,46 | 0,62 | 0,55 | 0,44 | 0,93 | 0,96 | 0,45 | 0,43 | 0,44 | 0,48 |
| Zn | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 |
| Ti | 0,01 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| V | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Mn | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,00 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| Ni | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Co | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,00 |
| Fe ²⁺ | 0,48 | 0,47 | 0,44 | 0,47 | 0,36 | 0,48 | 0,43 | 0,33 | 0,47 | 0,51 | 0,37 | 0,36 | 0,36 | 0,40 |
| Fe ³⁺ | 0,06 | 0,08 | 0,10 | 0,14 | 0,10 | 0,14 | 0,12 | 0,11 | 0,46 | 0,45 | 0,08 | 0,07 | 0,08 | 0,08 |
| Cr# | 0,74 | 0,77 | 0,78 | 0,77 | 0,82 | 0,81 | 0,71 | 0,78 | 0,80 | 0,80 | 0,74 | 0,76 | 0,76 | 0,78 |
| Fe ³⁺ # | 0,12 | 0,14 | 0,18 | 0,23 | 0,21 | 0,23 | 0,21 | 0,25 | 0,50 | 0,47 | 0,17 | 0,17 | 0,18 | 0,17 |
| f | 0,49 | 0,48 | 0,44 | 0,49 | 0,37 | 0,49 | 0,44 | 0,33 | 0,48 | 0,52 | 0,38 | 0,36 | 0,36 | 0,40 |

| № обр. | Y-537/1 | Y-569/1 | Y-569/2 | Y-587/2 | Y-630/2 | Y-631/2 | Y-652/2 | Y-1005/3 | Y-1026/1 | Y-1026/3 | Y-1027/1 | Y-1027/3 | Y-1028/1 | Y-1032/2 | Y-1037/1 |
|--|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| SiO ₂ | 0,04 | 0,01 | 0,03 | 0,06 | 0,05 | 0,01 | 0,08 | 0,05 | 0,07 | 0,05 | 0,04 | 0,02 | 0,07 | 0,07 | 0,03 |
| MgO | 13,20 | 10,62 | 9,95 | 13,77 | 13,28 | 12,61 | 12,76 | 12,62 | 10,83 | 9,12 | 11,12 | 10,10 | 12,72 | 11,37 | 10,74 |
| Al ₂ O ₃ | 12,88 | 7,75 | 7,31 | 10,28 | 13,56 | 14,36 | 8,88 | 9,44 | 12,45 | 11,47 | 12,89 | 12,35 | 13,19 | 11,32 | 10,49 |
| Cr ₂ O ₃ | 56,99 | 58,82 | 58,04 | 57,95 | 55,36 | 53,37 | 58,50 | 58,64 | 53,92 | 54,10 | 55,10 | 54,07 | 55,15 | 57,19 | 54,82 |
| FeO | 15,84 | 21,68 | 23,07 | 16,75 | 16,34 | 18,51 | 18,85 | 18,13 | 20,73 | 24,02 | 20,18 | 22,02 | 17,87 | 19,03 | 22,72 |
| ZnO | 0,00 | 0,03 | 0,02 | 0,26 | 0,10 | 0,00 | 0,10 | 0,00 | 0,02 | 0,18 | 0,10 | 0,14 | 0,03 | 0,00 | 0,10 |
| TiO ₂ | 0,21 | 0,11 | 0,11 | 0,07 | 0,24 | 0,18 | 0,14 | 0,07 | 0,22 | 0,20 | 0,17 | 0,24 | 0,18 | 0,20 | 0,23 |
| V ₂ O ₃ | 0,07 | 0,10 | 0,08 | 0,07 | 0,11 | 0,14 | 0,06 | 0,06 | 0,22 | 0,18 | 0,16 | 0,11 | 0,10 | 0,08 | 0,12 |
| MnO | 0,25 | 0,31 | 0,36 | 0,26 | 0,24 | 0,24 | 0,32 | 0,31 | 0,30 | 0,39 | 0,31 | 0,37 | 0,30 | 0,32 | 0,33 |
| NiO | 0,12 | 0,14 | 0,03 | 0,13 | 0,04 | 0,12 | 0,11 | 0,08 | 0,05 | 0,04 | 0,05 | 0,07 | 0,05 | 0,10 | 0,11 |
| CoO | 0,22 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,06 | 0,04 | 0,00 | 0,08 | 0,08 | 0,14 | 0,05 | 0,17 | 0,09 | 0,10 | 0,10 |
| Сумма | 99,82 | 99,57 | 99,00 | 99,60 | 99,38 | 99,58 | 99,80 | 99,48 | 98,89 | 99,89 | 100,17 | 99,66 | 99,75 | 99,78 | 99,79 |
| Формульные коэффициенты в расчете на 3 катиона | | | | | | | | | | | | | | | |
| Mg | 0,63 | 0,53 | 0,50 | 0,66 | 0,63 | 0,60 | 0,62 | 0,61 | 0,53 | 0,45 | 0,54 | 0,49 | 0,61 | 0,55 | 0,52 |
| Al | 0,49 | 0,30 | 0,29 | 0,39 | 0,51 | 0,54 | 0,34 | 0,36 | 0,48 | 0,45 | 0,49 | 0,48 | 0,50 | 0,43 | 0,41 |
| Cr | 1,44 | 1,55 | 1,54 | 1,48 | 1,40 | 1,35 | 1,51 | 1,51 | 1,40 | 1,41 | 1,41 | 1,40 | 1,40 | 1,47 | 1,42 |
| Fe | 0,42 | 0,60 | 0,65 | 0,45 | 0,44 | 0,49 | 0,51 | 0,49 | 0,57 | 0,66 | 0,55 | 0,60 | 0,48 | 0,52 | 0,62 |
| Zn | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Ti | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,01 |
| V | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Mn | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| Ni | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Co | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Fe ²⁺ | 0,36 | 0,46 | 0,49 | 0,32 | 0,36 | 0,39 | 0,37 | 0,37 | 0,46 | 0,53 | 0,45 | 0,49 | 0,38 | 0,43 | 0,46 |
| Fe ³⁺ | 0,07 | 0,14 | 0,16 | 0,13 | 0,08 | 0,10 | 0,15 | 0,12 | 0,11 | 0,13 | 0,09 | 0,12 | 0,10 | 0,08 | 0,16 |
| Cr# | 0,75 | 0,84 | 0,84 | 0,79 | 0,73 | 0,71 | 0,82 | 0,81 | 0,74 | 0,76 | 0,74 | 0,75 | 0,74 | 0,77 | 0,78 |
| Fe ^{3+#} | 0,16 | 0,24 | 0,25 | 0,29 | 0,19 | 0,21 | 0,29 | 0,24 | 0,19 | 0,20 | 0,17 | 0,19 | 0,21 | 0,16 | 0,26 |
| f | 0,36 | 0,47 | 0,49 | 0,33 | 0,36 | 0,39 | 0,37 | 0,38 | 0,46 | 0,54 | 0,46 | 0,50 | 0,38 | 0,44 | 0,47 |

Продолжение прилож. 1

| №.обр. | Y-1067/3 | Y-1079/1 | Y-1080/4 | Y-1118/3 | Y-1118/4 | Y-1145/2 | Y-1145/3 | Y-1190/4 | Y-1204/2 | Y-1296/2 | Y-1296/2 | Y-1296/3 | Y-1304/1 | Y-1304/1 | Y-1304/13 |
|--|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|
| SiO ₂ | 0,03 | 0,01 | 0,06 | 0,04 | 0,00 | 0,06 | 0,04 | 0,05 | 0,07 | 0,04 | 0,22 | 0,05 | 0,02 | 0,05 | 0,06 |
| MgO | 13,24 | 14,46 | 11,67 | 10,82 | 12,40 | 12,83 | 13,47 | 13,28 | 10,68 | 11,58 | 11,21 | 11,63 | 9,94 | 10,81 | 13,34 |
| Al ₂ O ₃ | 8,52 | 11,24 | 10,36 | 12,08 | 11,92 | 11,94 | 11,12 | 8,75 | 7,71 | 12,24 | 12,25 | 12,44 | 8,01 | 8,17 | 10,99 |
| Cr ₂ O ₃ | 59,53 | 57,32 | 54,50 | 56,37 | 56,99 | 54,41 | 57,56 | 60,29 | 56,95 | 54,83 | 54,42 | 54,07 | 56,67 | 56,74 | 57,93 |
| FeO | 17,74 | 16,09 | 22,44 | 19,73 | 17,52 | 18,98 | 16,55 | 16,62 | 22,92 | 19,99 | 20,47 | 20,36 | 23,86 | 23,21 | 16,62 |
| ZnO | 0,00 | 0,07 | 0,13 | 0,15 | 0,21 | 0,11 | 0,00 | 0,07 | 0,01 | 0,00 | 0,24 | 0,22 | 0,06 | 0,00 | 0,18 |
| TiO ₂ | 0,06 | 0,08 | 0,08 | 0,18 | 0,21 | 0,16 | 0,20 | 0,09 | 0,14 | 0,19 | 0,20 | 0,24 | 0,12 | 0,10 | 0,09 |
| V ₂ O ₃ | 0,03 | 0,12 | 0,15 | 0,15 | 0,11 | 0,12 | 0,11 | 0,05 | 0,00 | 0,02 | 0,13 | 0,06 | 0,12 | 0,06 | 0,00 |
| MnO | 0,31 | 0,25 | 0,28 | 0,30 | 0,32 | 0,31 | 0,28 | 0,22 | 0,33 | 0,24 | 0,24 | 0,32 | 0,38 | 0,44 | 0,30 |
| NiO | 0,11 | 0,15 | 0,12 | 0,10 | 0,13 | 0,12 | 0,10 | 0,08 | 0,12 | 0,08 | 0,10 | 0,13 | 0,07 | 0,12 | 0,15 |
| CoO | 0,17 | 0,00 | 0,11 | 0,12 | 0,02 | 0,15 | 0,06 | 0,00 | 0,05 | 0,06 | 0,15 | 0,09 | 0,10 | 0,05 | 0,00 |
| Сумма | 99,74 | 99,79 | 99,90 | 100,04 | 99,83 | 99,19 | 99,49 | 99,50 | 98,98 | 99,27 | 99,63 | 99,61 | 99,35 | 99,75 | 99,66 |
| Формульные коэффициенты в расчете на 3 катиона | | | | | | | | | | | | | | | |
| Mg | 0,64 | 0,69 | 0,57 | 0,52 | 0,60 | 0,62 | 0,65 | 0,64 | 0,53 | 0,56 | 0,54 | 0,56 | 0,50 | 0,53 | 0,64 |
| Al | 0,33 | 0,42 | 0,40 | 0,46 | 0,45 | 0,45 | 0,42 | 0,34 | 0,30 | 0,47 | 0,47 | 0,47 | 0,32 | 0,32 | 0,42 |
| Cr | 1,53 | 1,44 | 1,40 | 1,45 | 1,45 | 1,39 | 1,47 | 1,55 | 1,51 | 1,41 | 1,40 | 1,38 | 1,50 | 1,48 | 1,48 |
| Fe | 0,48 | 0,43 | 0,61 | 0,54 | 0,47 | 0,51 | 0,45 | 0,45 | 0,64 | 0,54 | 0,56 | 0,55 | 0,67 | 0,64 | 0,45 |
| Zn | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Ti | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| V | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Mn | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| Ni | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Co | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Fe ²⁺ | 0,34 | 0,30 | 0,42 | 0,46 | 0,39 | 0,36 | 0,34 | 0,35 | 0,45 | 0,43 | 0,44 | 0,42 | 0,49 | 0,45 | 0,34 |
| Fe ³⁺ | 0,14 | 0,13 | 0,19 | 0,08 | 0,09 | 0,15 | 0,10 | 0,11 | 0,19 | 0,12 | 0,12 | 0,13 | 0,18 | 0,19 | 0,10 |
| Cr# | 0,82 | 0,77 | 0,78 | 0,76 | 0,76 | 0,75 | 0,78 | 0,82 | 0,83 | 0,75 | 0,75 | 0,74 | 0,83 | 0,82 | 0,78 |
| Fe ³⁺ # | 0,29 | 0,30 | 0,32 | 0,15 | 0,18 | 0,29 | 0,23 | 0,24 | 0,29 | 0,21 | 0,22 | 0,24 | 0,27 | 0,30 | 0,23 |
| f | 0,35 | 0,30 | 0,42 | 0,47 | 0,39 | 0,37 | 0,35 | 0,35 | 0,46 | 0,43 | 0,45 | 0,43 | 0,50 | 0,46 | 0,35 |

| № обр. | Y-1305/1 | Y-1511/1 ц | Y-1511/1 к | Y-1511/2 ц | Y-1511/2 к | Y-1528/2 | Y-1528/3 ц | Y-1528/3 к | Y-1528/4 ц | Y-1528/4 к | Y-3054/2 ц | Y-3054/2 к | Y-3055/1 ц | Y-3055/1 к | Y-3055/2 ц | |
|--|----------|------------|------------|------------|------------|----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|--|
| SiO ₂ | 0,05 | 0,09 | 0,02 | 0,08 | 0,05 | 0,08 | 0,06 | 0,07 | 0,07 | 0,05 | 0,06 | 0,02 | 0,06 | 0,03 | 0,06 | |
| MgO | 13,71 | 12,98 | 12,98 | 12,80 | 12,74 | 13,62 | 12,89 | 12,93 | 13,36 | 13,14 | 9,99 | 8,94 | 13,23 | 13,56 | 12,28 | |
| Al ₂ O ₃ | 9,95 | 10,80 | 10,06 | 10,84 | 11,19 | 12,41 | 12,10 | 12,34 | 12,92 | 13,16 | 6,59 | 4,43 | 7,19 | 8,09 | 7,31 | |
| Cr ₂ O ₃ | 60,22 | 58,42 | 58,77 | 58,28 | 57,74 | 55,35 | 56,24 | 56,09 | 55,61 | 55,67 | 49,91 | 47,23 | 60,25 | 57,04 | 58,96 | |
| FeO | 15,59 | 16,57 | 16,81 | 16,86 | 17,24 | 16,99 | 17,16 | 17,14 | 17,11 | 17,26 | 30,69 | 35,90 | 17,62 | 19,36 | 19,90 | |
| ZnO | 0,00 | 0,10 | 0,02 | 0,00 | 0,00 | 0,13 | 0,14 | 0,10 | 0,00 | 0,01 | 0,18 | 0,00 | 0,07 | 0,07 | 0,04 | |
| TiO ₂ | 0,11 | 0,20 | 0,14 | 0,20 | 0,19 | 0,22 | 0,24 | 0,22 | 0,21 | 0,23 | 0,06 | 0,13 | 0,06 | 0,08 | 0,09 | |
| V ₂ O ₃ | 0,15 | 0,13 | 0,08 | 0,11 | 0,09 | 0,10 | 0,06 | 0,16 | 0,08 | 0,11 | 0,11 | 0,07 | 0,04 | 0,12 | 0,04 | |
| MnO | 0,19 | 0,30 | 0,27 | 0,24 | 0,24 | 0,32 | 0,20 | 0,39 | 0,25 | 0,23 | 0,46 | 0,47 | 0,38 | 0,39 | 0,24 | |
| NiO | 0,09 | 0,05 | 0,08 | 0,05 | 0,05 | 0,14 | 0,10 | 0,10 | 0,06 | 0,10 | 0,19 | 0,32 | 0,09 | 0,15 | 0,09 | |
| CoO | 0,02 | 0,07 | 0,01 | 0,11 | 0,01 | 0,06 | 0,07 | 0,04 | 0,10 | 0,03 | 0,08 | 0,07 | 0,06 | 0,00 | 0,01 | |
| Сумма | 100,08 | 99,71 | 99,24 | 99,57 | 99,54 | 99,42 | 99,26 | 99,58 | 99,77 | 99,99 | 98,32 | 97,58 | 99,05 | 98,89 | 99,02 | |
| Формульные коэффициенты в расчете на 3 катиона | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Mg | 0,66 | 0,63 | 0,63 | 0,62 | 0,61 | 0,65 | 0,62 | 0,62 | 0,64 | 0,62 | 0,50 | 0,46 | 0,65 | 0,66 | 0,61 | |
| Al | 0,38 | 0,41 | 0,39 | 0,41 | 0,43 | 0,47 | 0,46 | 0,47 | 0,49 | 0,49 | 0,26 | 0,18 | 0,28 | 0,31 | 0,29 | |
| Cr | 1,53 | 1,49 | 1,51 | 1,49 | 1,48 | 1,40 | 1,44 | 1,43 | 1,40 | 1,40 | 1,34 | 1,29 | 1,57 | 1,48 | 1,54 | |
| Fe | 0,42 | 0,45 | 0,46 | 0,46 | 0,47 | 0,46 | 0,46 | 0,46 | 0,46 | 0,46 | 0,87 | 1,04 | 0,49 | 0,53 | 0,55 | |
| Zn | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |
| Ti | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |
| V | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |
| Mn | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | |
| Ni | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |
| Co | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |
| Fe ²⁺ | 0,33 | 0,36 | 0,36 | 0,37 | 0,38 | 0,33 | 0,37 | 0,36 | 0,35 | 0,37 | 0,47 | 0,51 | 0,33 | 0,32 | 0,38 | |
| Fe ³⁺ | 0,08 | 0,09 | 0,10 | 0,09 | 0,09 | 0,12 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,09 | 0,40 | 0,52 | 0,15 | 0,21 | 0,17 | |
| Cr# | 0,80 | 0,78 | 0,80 | 0,78 | 0,78 | 0,75 | 0,76 | 0,75 | 0,74 | 0,74 | 0,84 | 0,88 | 0,85 | 0,83 | 0,84 | |
| Fe ^{3+#} | 0,20 | 0,19 | 0,21 | 0,19 | 0,19 | 0,27 | 0,21 | 0,21 | 0,23 | 0,20 | 0,46 | 0,50 | 0,31 | 0,39 | 0,30 | |
| f | 0,34 | 0,37 | 0,36 | 0,38 | 0,38 | 0,34 | 0,37 | 0,37 | 0,36 | 0,37 | 0,48 | 0,53 | 0,34 | 0,33 | 0,39 | |

Окончание прилож. 1

| № обр. | У-3055/2 к | У-3055/3 п | У-3259/3 к | У-3259/5 п | У-3507/3 п | У-3507/3 к | У-3507/5 п | У-3507/5 к | У-3508/4 п | У-3508/4 к | У-3510/1 п | У-3510/1 к |
|--|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| SiO ₂ | 0,04 | 0,04 | 0,07 | 0,07 | 0,02 | 0,03 | 0,04 | 0,10 | 0,08 | 0,00 | 0,05 | 0,02 |
| MgO | 12,37 | 13,85 | 11,40 | 11,08 | 16,50 | 12,30 | 12,74 | 12,67 | 12,94 | 12,84 | 13,00 | 12,52 |
| Al ₂ O ₃ | 8,23 | 8,22 | 12,66 | 12,20 | 25,10 | 11,04 | 11,16 | 11,26 | 11,96 | 11,82 | 12,41 | 11,72 |
| Cr ₂ O ₃ | 55,40 | 60,86 | 53,00 | 52,86 | 43,37 | 56,66 | 56,52 | 57,13 | 56,01 | 56,56 | 56,91 | 57,17 |
| FeO | 21,89 | 15,94 | 20,95 | 21,86 | 13,82 | 18,58 | 17,81 | 17,54 | 17,56 | 17,95 | 16,41 | 17,70 |
| ZnO | 0,00 | 0,06 | 0,00 | 0,12 | 0,12 | 0,00 | 0,25 | 0,00 | 0,24 | 0,00 | 0,12 | 0,05 |
| TiO ₂ | 0,09 | 0,12 | 0,08 | 0,11 | 0,12 | 0,23 | 0,24 | 0,23 | 0,23 | 0,22 | 0,21 | 0,22 |
| V ₂ O ₃ | 0,14 | 0,11 | 0,17 | 0,20 | 0,12 | 0,07 | 0,13 | 0,12 | 0,09 | 0,14 | 0,11 | 0,10 |
| MnO | 0,29 | 0,23 | 0,32 | 0,37 | 0,18 | 0,19 | 0,23 | 0,18 | 0,28 | 0,24 | 0,27 | 0,26 |
| NiO | 0,22 | 0,10 | 0,10 | 0,09 | 0,20 | 0,10 | 0,09 | 0,06 | 0,08 | 0,06 | 0,13 | 0,10 |
| CoO | 0,05 | 0,01 | 0,02 | 0,03 | 0,00 | 0,10 | 0,00 | 0,02 | 0,00 | 0,01 | 0,03 | 0,00 |
| Сумма | 98,72 | 99,54 | 98,77 | 98,87 | 99,55 | 99,30 | 99,21 | 99,31 | 99,47 | 99,84 | 99,65 | 99,86 |
| Формульные коэффициенты в расчете на 3 катиона | | | | | | | | | | | | |
| Mg | 0,61 | 0,67 | 0,55 | 0,54 | 0,73 | 0,60 | 0,62 | 0,61 | 0,62 | 0,62 | 0,62 | 0,60 |
| Al | 0,32 | 0,31 | 0,49 | 0,47 | 0,88 | 0,42 | 0,43 | 0,43 | 0,45 | 0,45 | 0,47 | 0,45 |
| Cr | 1,45 | 1,56 | 1,37 | 1,37 | 1,02 | 1,46 | 1,45 | 1,47 | 1,43 | 1,44 | 1,44 | 1,46 |
| Fe | 0,60 | 0,43 | 0,57 | 0,60 | 0,34 | 0,51 | 0,48 | 0,48 | 0,47 | 0,48 | 0,44 | 0,48 |
| Zn | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Ti | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| V | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Mn | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,00 | 0,01 | 0,01 | 0,00 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| Ni | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Co | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Fe ²⁺ | 0,38 | 0,32 | 0,43 | 0,45 | 0,25 | 0,39 | 0,37 | 0,38 | 0,36 | 0,38 | 0,36 | 0,39 |
| Fe ³⁺ | 0,23 | 0,12 | 0,11 | 0,15 | 0,09 | 0,11 | 0,11 | 0,10 | 0,11 | 0,11 | 0,08 | 0,09 |
| Cr# | 0,82 | 0,83 | 0,74 | 0,74 | 0,54 | 0,77 | 0,77 | 0,77 | 0,76 | 0,76 | 0,75 | 0,77 |
| Fe ³⁺ # | 0,38 | 0,27 | 0,24 | 0,26 | 0,26 | 0,22 | 0,24 | 0,20 | 0,23 | 0,22 | 0,18 | 0,19 |
| f | 0,38 | 0,32 | 0,44 | 0,45 | 0,26 | 0,40 | 0,37 | 0,38 | 0,37 | 0,38 | 0,37 | 0,39 |

Примечание. Ст# = Ст/(Ст + Al), Fe³⁺# = Fe³⁺/(Fe²⁺ + Fe³⁺), f = Fe²⁺/(Fe²⁺ + Mg), ф.е. Пробы с литером «К», а также Е-2010-2012 – Рудопровление Енгайское; РШ, Е-217 – 222, БП, 6-616, 6-630 – месторождение Центральное; «У» – Юго-Западное рудное поле.

Химический состав оливинов (мас. %) и результаты расчета температуры оливин-шиннелевого равновесия и фугитивности кислорода

| № обр. | К-712-2 | К-712-3 | К-712-4 | К-712-5 | К-712-6 | К-712-7 | К-712-8 | К-713А-2 | К-713А-5 | К-713А-6 | К-713А-9 | К-713А-11 | К-713А-12 | К-713А-15 | К-713А-16 |
|--|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| SiO ₂ | 40,60 | 40,44 | 40,25 | 40,87 | 41,10 | 40,57 | 40,56 | 41,28 | 41,14 | 41,57 | 41,51 | 41,44 | 41,11 | 41,09 | 41,28 |
| MgO | 54,13 | 54,33 | 54,30 | 55,49 | 55,60 | 54,96 | 55,12 | 54,49 | 54,08 | 54,26 | 54,46 | 55,31 | 53,72 | 53,60 | 54,17 |
| FeO | 5,94 | 5,51 | 5,21 | 3,73 | 3,77 | 4,71 | 4,60 | 4,39 | 4,25 | 3,65 | 3,62 | 3,15 | 4,68 | 4,71 | 4,18 |
| NiO | 0,43 | 0,43 | 0,42 | 0,45 | 0,45 | 0,50 | 0,51 | 0,53 | 0,49 | 0,55 | 0,52 | 0,65 | 0,51 | 0,43 | 0,49 |
| MnO | 0,10 | 0,13 | 0,10 | 0,07 | 0,04 | 0,06 | 0,08 | 0,07 | 0,07 | 0,06 | 0,07 | 0,06 | 0,05 | 0,07 | 0,07 |
| Cr ₂ O ₃ | 0,00 | 0,00 | 0,02 | 0,01 | 0,12 | 0,01 | 0,04 | 0,03 | 0,07 | 0,08 | 0,05 | 0,05 | 0,00 | 0,04 | 0,03 |
| CaO | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,02 | 0,02 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,02 | 0,00 | 0,02 |
| Al ₂ O ₃ | 0,01 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,02 | 0,03 | 0,02 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,01 | 0,02 | 0,04 |
| CoO | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Сумма | 101,22 | 100,86 | 100,32 | 100,63 | 101,10 | 100,83 | 100,95 | 100,83 | 100,12 | 100,19 | 100,26 | 100,70 | 100,09 | 99,95 | 100,27 |
| Формульные коэффициенты в расчете на 3 катиона | | | | | | | | | | | | | | | |
| Si | 0,96 | 0,96 | 0,96 | 0,96 | 0,97 | 0,96 | 0,96 | 0,98 | 0,98 | 0,99 | 0,99 | 0,98 | 0,98 | 0,98 | 0,98 |
| Mg | 1,91 | 1,92 | 1,93 | 1,95 | 1,95 | 1,94 | 1,94 | 1,92 | 1,92 | 1,92 | 1,93 | 1,94 | 1,91 | 1,91 | 1,92 |
| Fe | 0,12 | 0,11 | 0,10 | 0,07 | 0,07 | 0,09 | 0,09 | 0,09 | 0,08 | 0,07 | 0,07 | 0,06 | 0,09 | 0,09 | 0,08 |
| Ni | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| Mn | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Cr | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Ca | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Al | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Co | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Fa, % | 5,80 | 5,38 | 5,11 | 3,63 | 3,66 | 4,59 | 4,47 | 4,32 | 4,22 | 3,64 | 3,60 | 3,10 | 4,66 | 4,70 | 4,15 |
| T, °C | 683 | 635 | 629 | 636 | 619 | 630 | 613 | 643 | 609 | 599 | 628 | 590 | 760 | 659 | 623 |
| dlog fO ₂ (FMQ) | 1,9 | 1,6 | 1,8 | 2,1 | 3,2 | 2,7 | 2,3 | 2,2 | 2,3 | 3,4 | 2,8 | 2,6 | 1,3 | 1,8 | 2,1 |

Продолжение прилож. 2

| № обр. | К-713А-18 | К-713А-20 | К-713А-20 | К-713А-27 | К-723-2 | К-725-2 | К-725-3 | К-725-5 | К-725-6 | К-726-3 | К-726-4 | К-726-6 | К-726-7 | К-726-8 | К-726-10 |
|--|-----------|-----------|-----------|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|
| SiO ₂ | 41,34 | 40,90 | 41,15 | 40,73 | 41,58 | 41,20 | 41,10 | 41,29 | 40,55 | 41,02 | 41,06 | 41,31 | 40,81 | 40,75 | 41,28 |
| MgO | 53,91 | 53,09 | 54,08 | 51,60 | 51,49 | 53,79 | 53,82 | 52,37 | 51,14 | 52,05 | 52,68 | 52,88 | 50,61 | 52,48 | 53,11 |
| FeO | 4,65 | 5,68 | 5,01 | 7,59 | 3,88 | 4,71 | 4,62 | 6,36 | 6,53 | 6,30 | 5,86 | 5,35 | 7,71 | 5,35 | 4,47 |
| NiO | 0,46 | 0,37 | 0,44 | 0,39 | 0,43 | 0,43 | 0,50 | 0,48 | 0,37 | 0,46 | 0,47 | 0,49 | 0,44 | 0,48 | 0,48 |
| MnO | 0,07 | 0,08 | 0,07 | 0,14 | 0,07 | 0,09 | 0,11 | 0,10 | 0,10 | 0,08 | 0,07 | 0,09 | 0,15 | 0,07 | 0,08 |
| Cr ₂ O ₃ | 0,01 | 0,04 | 0,04 | 0,00 | 0,28 | 0,02 | 0,00 | 0,03 | 0,03 | 0,00 | 0,01 | 0,01 | 0,04 | 0,00 | 0,07 |
| CaO | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,01 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,03 | 0,00 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,02 |
| Al ₂ O ₃ | 0,04 | 0,03 | 0,02 | 0,02 | 0,32 | 0,01 | 0,03 | 0,04 | 0,01 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,02 | 0,01 | 0,00 |
| CoO | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Сумма | 100,49 | 100,18 | 100,81 | 100,48 | 98,06 | 100,25 | 100,18 | 100,65 | 98,78 | 99,92 | 100,16 | 100,14 | 99,80 | 99,14 | 99,52 |
| Формульные коэффициенты в расчете на 3 катиона | | | | | | | | | | | | | | | |
| Si | 0,98 | 0,98 | 0,98 | 0,98 | 1,02 | 0,98 | 0,98 | 0,99 | 0,99 | 0,99 | 0,99 | 0,99 | 0,99 | 0,99 | 0,99 |
| Mg | 1,91 | 1,90 | 1,91 | 1,85 | 1,88 | 1,91 | 1,91 | 1,87 | 1,86 | 1,87 | 1,89 | 1,89 | 1,84 | 1,89 | 1,90 |
| Fe | 0,09 | 0,11 | 0,10 | 0,15 | 0,08 | 0,09 | 0,09 | 0,13 | 0,13 | 0,13 | 0,12 | 0,11 | 0,16 | 0,11 | 0,09 |
| Ni | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| Mn | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Cr | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Ca | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Al | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Co | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Fa, % | 4,62 | 5,66 | 4,94 | 7,62 | 4,06 | 4,68 | 4,59 | 6,38 | 6,68 | 6,36 | 5,87 | 5,37 | 7,87 | 5,41 | 4,51 |
| T, °C | 649 | 693 | 656 | 765 | 485 | 650 | 637 | 612 | 548 | 680 | 663 | 645 | 782 | 693 | 677 |
| dlog fO ₂ (FMQ) | 1,9 | 2,4 | 2,7 | 1,4 | 5,4 | 1,6 | 1,9 | 1,6 | 3,3 | 1,3 | 1,2 | 1,8 | 1,8 | 1,5 | 2,0 |

| № обр. | K-726-12 | K-726-13 | K-726-14 | K-726-15 | K-726-16 | K-726-17 | K-742-4 | K-742-14 | K-742-16 | K-742-17 | K-742-23 | K-742-25 | K-742P-2 | K-742P-3 | K-742P-4 |
|--|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| SiO ₂ | 41,23 | 40,74 | 40,71 | 40,81 | 40,48 | 40,48 | 41,25 | 41,39 | 41,69 | 40,62 | 40,71 | 41,21 | 40,69 | 40,72 | 40,68 |
| MgO | 54,14 | 56,70 | 54,36 | 54,52 | 55,75 | 54,82 | 54,35 | 54,49 | 54,74 | 51,40 | 53,38 | 53,11 | 52,38 | 52,20 | 51,56 |
| FeO | 4,08 | 3,12 | 5,26 | 4,40 | 3,62 | 4,60 | 3,19 | 3,00 | 2,75 | 6,89 | 4,83 | 4,78 | 5,80 | 6,05 | 5,98 |
| NiO | 0,45 | 0,65 | 0,44 | 0,45 | 0,55 | 0,48 | 0,63 | 0,58 | 0,65 | 0,51 | 0,45 | 0,49 | 0,35 | 0,53 | 0,41 |
| MnO | 0,06 | 0,04 | 0,08 | 0,03 | 0,05 | 0,07 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,14 | 0,07 | 0,06 | 0,06 | 0,12 | 0,12 |
| Cr ₂ O ₃ | 0,04 | 0,09 | 0,00 | 0,03 | 0,03 | 0,02 | 0,13 | 0,05 | 0,02 | 0,00 | 0,00 | 0,02 | 0,00 | 0,01 | 0,02 |
| CaO | 0,01 | 0,00 | 0,02 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,00 |
| Al ₂ O ₃ | 0,00 | 0,01 | 0,02 | 0,03 | 0,00 | 0,00 | 0,02 | 0,01 | 0,04 | 0,03 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,01 | 0,02 |
| CoO | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Сумма | 100,02 | 101,35 | 100,90 | 100,27 | 100,49 | 100,48 | 99,60 | 99,55 | 99,94 | 99,59 | 99,46 | 99,69 | 99,31 | 99,65 | 98,79 |
| Формульные коэффициенты в расчете на 3 катиона | | | | | | | | | | | | | | | |
| Si | 0,98 | 0,95 | 0,96 | 0,97 | 0,96 | 0,96 | 0,99 | 0,99 | 0,99 | 0,99 | 0,98 | 0,99 | 0,98 | 0,98 | 0,99 |
| Mg | 1,92 | 1,97 | 1,92 | 1,93 | 1,96 | 1,94 | 1,94 | 1,94 | 1,94 | 1,86 | 1,91 | 1,90 | 1,89 | 1,88 | 1,87 |
| Fe | 0,08 | 0,06 | 0,10 | 0,09 | 0,07 | 0,09 | 0,06 | 0,06 | 0,05 | 0,14 | 0,10 | 0,10 | 0,12 | 0,12 | 0,12 |
| Ni | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| Mn | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Cr | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Ca | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Al | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Co | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Fa, % | 4,06 | 2,99 | 5,15 | 4,33 | 3,51 | 4,50 | 3,19 | 3,00 | 2,74 | 6,99 | 4,83 | 4,81 | 5,85 | 6,11 | 6,11 |
| T, °C | 679 | 595 | 673 | 599 | 654 | 717 | 632 | 671 | 638 | 666 | 619 | 683 | 648 | 635 | 658 |
| dlog fO ₂ (FMQ) | 2,5 | 2,7 | 1,8 | 2,2 | 2,1 | 1,7 | 2,2 | 2,7 | 2,6 | 1,1 | 2,1 | 1,8 | 2,0 | 2,6 | 1,7 |

Продолжение прилож. 2

| № обр. | K-742P-8 | K-742P-9 | K-742P-10 | K-742P-12 | K-742P-14 | K-742P-15 | K-743-2 | K-743-4 | K-743-7 | E-217/2 | E-217/3 | E-217/4 | E-217/5 | E-217/8 | E-217/9 |
|--|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| SiO ₂ | 41,37 | 41,07 | 41,48 | 41,26 | 41,21 | 40,85 | 40,46 | 40,51 | 40,44 | 41,37 | 41,06 | 41,84 | 41,18 | 41,65 | 41,28 |
| MgO | 53,35 | 53,26 | 54,30 | 53,10 | 53,94 | 51,86 | 52,08 | 51,42 | 53,13 | 54,44 | 54,15 | 55,72 | 54,97 | 54,77 | 55,07 |
| FeO | 4,50 | 4,47 | 3,17 | 4,55 | 3,21 | 5,80 | 5,40 | 7,11 | 5,08 | 3,09 | 4,25 | 2,77 | 3,02 | 2,80 | 2,75 |
| NiO | 0,50 | 0,56 | 0,71 | 0,43 | 0,53 | 0,48 | 0,52 | 0,48 | 0,51 | 0,79 | 0,54 | 0,65 | 0,76 | 0,64 | 0,72 |
| MnO | 0,07 | 0,07 | 0,04 | 0,05 | 0,07 | 0,09 | 0,13 | 0,07 | 0,07 | 0,04 | 0,03 | 0,04 | 0,12 | 0,06 | 0,05 |
| Cr ₂ O ₃ | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,05 | 0,00 | 0,00 | 0,05 | 0,02 | 0,01 | 0,50 | 0,00 | 0,11 | 0,09 | 0,00 | 0,05 |
| CaO | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Al ₂ O ₃ | 0,00 | 0,02 | 0,03 | 0,03 | 0,02 | 0,00 | 0,02 | 0,01 | 0,04 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,03 | 0,00 | 0,03 |
| CoO | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,03 | 0,08 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,02 |
| Сумма | 99,81 | 99,46 | 99,76 | 99,46 | 98,99 | 99,11 | 98,68 | 99,62 | 99,29 | 100,27 | 100,13 | 100,14 | 100,17 | 99,91 | 99,97 |
| Формульные коэффициенты в расчете на 3 катиона | | | | | | | | | | | | | | | |
| Si | 0,99 | 0,99 | 0,99 | 0,99 | 0,99 | 0,99 | 0,99 | 0,98 | 0,98 | 0,98 | 0,98 | 0,98 | 0,98 | 0,99 | 0,98 |
| Mg | 1,91 | 1,91 | 1,93 | 1,90 | 1,93 | 1,88 | 1,89 | 1,86 | 1,91 | 1,93 | 1,92 | 1,95 | 1,94 | 1,94 | 1,95 |
| Fe | 0,09 | 0,09 | 0,06 | 0,09 | 0,06 | 0,12 | 0,11 | 0,14 | 0,10 | 0,06 | 0,08 | 0,05 | 0,06 | 0,06 | 0,05 |
| Ni | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| Mn | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Cr | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Ca | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Al | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Co | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Fa, % | 4,52 | 4,50 | 3,17 | 4,59 | 3,23 | 5,90 | 5,50 | 7,20 | 5,09 | 3,09 | 4,22 | 2,71 | 2,99 | 2,79 | 2,73 |
| T, °C | 650 | 608 | 627 | 646 | 644 | 672 | 623 | 591 | 637 | 654 | 778 | 620 | 638 | 575 | 625 |
| dlog fO ₂ (FMQ) | 2,0 | 2,1 | 2,8 | 2,0 | 2,4 | 1,7 | 2,8 | 2,8 | 2,2 | 2,6 | 1,7 | 2,9 | 2,6 | 3,0 | 2,4 |

| № обр. | E-217/10 | E-217/11 | E-217/12 | E-217/13 | E-217/14 | E-217/15 | E-222/11 п | E-222/11 к | E-222/14 п | E-222/14 к | E-2010/2 | E-2010/3 | E-2010/4 | E-2010/5 | E-2010/7 |
|--|----------|----------|----------|----------|----------|----------|------------|------------|------------|------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| SiO ₂ | 41,81 | 41,15 | 41,37 | 41,54 | 41,50 | 41,47 | 42,15 | 42,08 | 41,70 | 41,81 | 40,66 | 41,10 | 40,48 | 40,58 | 41,04 |
| MgO | 54,56 | 54,69 | 53,84 | 54,31 | 54,59 | 54,98 | 55,91 | 55,44 | 55,38 | 55,36 | 50,80 | 50,84 | 50,29 | 50,22 | 50,55 |
| FeO | 2,53 | 2,26 | 3,26 | 3,25 | 3,53 | 2,73 | 1,76 | 2,04 | 2,37 | 2,37 | 8,28 | 8,02 | 7,53 | 7,48 | 7,11 |
| NiO | 0,76 | 1,01 | 0,53 | 0,62 | 0,65 | 0,63 | 0,93 | 0,94 | 0,65 | 0,73 | 0,25 | 0,18 | 0,30 | 0,40 | 0,42 |
| MnO | 0,07 | 0,02 | 0,06 | 0,02 | 0,06 | 0,05 | 0,05 | 0,02 | 0,04 | 0,05 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Cr ₂ O ₃ | 0,03 | 0,02 | 0,01 | 0,00 | 0,01 | 0,05 | 0,05 | 0,06 | 0,01 | 0,02 | 0,06 | 0,05 | 0,02 | 0,02 | 0,00 |
| CaO | 0,00 | 0,01 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,02 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,03 | 0,01 | 0,01 | 0,00 | 0,01 |
| Al ₂ O ₃ | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,04 | 0,02 | 0,00 | 0,02 | 0,02 | 0,00 | 0,01 | 0,02 | 0,03 | 0,03 | 0,02 |
| CoO | 0,09 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,02 | 0,12 | 0,03 | 0,05 | 0,04 | 0,00 | 0,00 | 0,10 | 0,07 | 0,03 | 0,04 |
| Сумма | 99,86 | 99,21 | 99,08 | 99,74 | 100,43 | 100,05 | 100,90 | 100,65 | 100,21 | 100,35 | 100,10 | 100,33 | 98,78 | 98,79 | 99,19 |
| Формульные коэффициенты в расчете на 3 катиона | | | | | | | | | | | | | | | |
| Si | 1,00 | 0,98 | 0,99 | 0,99 | 0,98 | 0,98 | 0,99 | 0,99 | 0,99 | 0,99 | 0,99 | 1,00 | 0,99 | 1,00 | 1,00 |
| Mg | 1,94 | 1,95 | 1,93 | 1,93 | 1,93 | 1,94 | 1,96 | 1,95 | 1,95 | 1,95 | 1,84 | 1,84 | 1,84 | 1,84 | 1,84 |
| Fe | 0,05 | 0,05 | 0,07 | 0,06 | 0,07 | 0,05 | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,05 | 0,17 | 0,16 | 0,15 | 0,15 | 0,15 |
| Ni | 0,01 | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| Mn | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Cr | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Ca | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Al | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Co | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Fa, % | 2,54 | 2,27 | 3,29 | 3,25 | 3,50 | 2,71 | 1,74 | 2,02 | 2,34 | 2,35 | 8,38 | 8,13 | 7,75 | 7,71 | 7,31 |
| T, °C | 648 | 620 | 652 | 701 | 701 | 630 | 550 | 593 | 655 | 646 | 639 | 607 | 642 | 645 | 648 |
| dlog fO ₂ (FMQ) | 2,1 | 2,5 | 2,1 | 2,2 | 2,3 | 2,9 | 3,2 | 3,1 | 2,6 | 2,4 | 0,7 | 1,8 | 1,8 | 1,7 | 1,4 |

Продолжение прилож. 2

| № обр. | E-2010/8 | E-2010/9 | E-2010/10 | E-2011/3 | E-2011/4 | E-2011/5 | E-2011/8 | E-2012/1 | E-2012/2 y/B | E-2012/2 c/B | E-2012/3 | E-2012/4 | E-2012/5 | E-2012/6 K/3 | E-2012/8 |
|--|----------|----------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------------|-----------------|----------|----------|----------|-----------------|----------|
| SiO ₂ | 40,46 | 40,50 | 41,28 | 40,59 | 40,50 | 40,67 | 40,19 | 41,11 | 41,09 | 41,54 | 41,20 | 41,46 | 40,72 | 40,48 | 40,52 |
| MgO | 49,91 | 51,38 | 51,07 | 51,08 | 50,33 | 51,44 | 49,48 | 52,05 | 53,75 | 53,49 | 52,56 | 51,28 | 51,62 | 50,58 | 50,56 |
| FeO | 7,27 | 6,78 | 6,77 | 7,84 | 8,56 | 7,19 | 8,28 | 5,73 | 3,63 | 2,69 | 5,63 | 5,89 | 5,95 | 7,38 | 7,91 |
| NiO | 0,28 | 0,30 | 0,35 | 0,40 | 0,46 | 0,27 | 0,34 | 0,39 | 0,52 | 0,58 | 0,39 | 0,24 | 0,38 | 0,34 | 0,17 |
| MnO | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Cr ₂ O ₃ | 0,00 | 0,04 | 0,01 | 0,03 | 0,00 | 0,00 | 0,02 | 0,08 | 0,05 | 0,10 | 0,05 | 0,00 | 0,02 | 0,05 | 0,06 |
| CaO | 0,02 | 0,02 | 0,00 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,00 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,00 | 0,02 | 0,01 | 0,03 |
| Al ₂ O ₃ | 0,00 | 0,03 | 0,00 | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,03 | 0,00 | 0,02 | 0,02 | 0,01 | 0,00 |
| CoO | 0,11 | 0,00 | 0,00 | 0,07 | 0,07 | 0,07 | 0,00 | 0,09 | 0,03 | 0,04 | 0,03 | 0,05 | 0,01 | 0,00 | 0,00 |
| Сумма | 98,09 | 99,09 | 99,52 | 100,07 | 99,94 | 99,66 | 98,35 | 99,48 | 99,10 | 98,51 | 99,92 | 98,94 | 98,75 | 98,87 | 99,30 |
| Формульные коэффициенты в расчете на 3 катиона | | | | | | | | | | | | | | | |
| Si | 1,00 | 0,99 | 1,00 | 0,98 | 0,99 | 0,99 | 0,99 | 1,00 | 0,99 | 1,00 | 0,99 | 1,01 | 0,99 | 0,99 | 0,99 |
| Mg | 1,84 | 1,87 | 1,85 | 1,85 | 1,83 | 1,86 | 1,83 | 1,88 | 1,93 | 1,93 | 1,89 | 1,86 | 1,88 | 1,85 | 1,84 |
| Fe | 0,15 | 0,14 | 0,14 | 0,16 | 0,17 | 0,15 | 0,17 | 0,12 | 0,07 | 0,05 | 0,11 | 0,12 | 0,12 | 0,15 | 0,16 |
| Ni | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,00 | 0,01 | 0,01 | 0,00 |
| Mn | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Cr | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Ca | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Al | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Co | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Fa, % | 7,55 | 6,89 | 6,92 | 7,93 | 8,71 | 7,27 | 8,58 | 5,82 | 3,65 | 2,74 | 5,67 | 6,05 | 6,07 | 7,57 | 8,07 |
| T, °C | 643 | 663 | 649 | 572 | 601 | 633 | 681 | 655 | 644 | 607 | 674 | 639 | 660 | 1052 | 621 |
| dlog fO ₂ (FMQ) | 1,1 | 1,0 | 1,4 | 2,8 | 2,2 | 1,9 | 1,3 | 1,5 | 2,2 | 2,7 | 1,7 | 2,8 | 1,0 | 0,5 | 2,6 |

| № обр. | Е-2012/9 | РШ-50 ц | РШ-50 к | РШ-64 ц | РШ-64 к | РШ-67 ц | РШ-67 к | РШ-69 ц | РШ-69 к | РШ-70 ц | РШ-70 к | РШ-71 ц | РШ-71 к | РШ-72 Ац | РШ-72 Ак |
|--|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|
| SiO ₂ | 41,08 | 41,39 | 41,16 | 41,97 | 41,97 | 42,09 | 41,87 | 41,81 | 41,80 | 41,89 | 41,84 | 41,11 | 40,93 | 41,95 | 41,20 |
| MgO | 50,57 | 51,55 | 51,41 | 54,64 | 54,60 | 56,02 | 55,70 | 55,14 | 54,89 | 55,18 | 55,07 | 51,32 | 51,18 | 55,40 | 55,48 |
| FeO | 8,33 | 6,91 | 7,17 | 3,46 | 3,81 | 2,35 | 2,38 | 2,11 | 2,28 | 2,28 | 2,23 | 7,11 | 7,39 | 2,77 | 2,62 |
| NiO | 0,34 | 0,45 | 0,40 | 0,46 | 0,54 | 0,67 | 0,61 | 0,68 | 0,63 | 0,66 | 0,72 | 0,42 | 0,36 | 0,55 | 0,61 |
| MnO | 0,00 | 0,14 | 0,13 | 0,03 | 0,07 | 0,02 | 0,05 | 0,05 | 0,04 | 0,05 | 0,02 | 0,19 | 0,11 | 0,02 | 0,05 |
| Cr ₂ O ₃ | 0,00 | 0,02 | 0,04 | 0,06 | 0,03 | 0,09 | 0,04 | 0,05 | 0,03 | 0,00 | 0,02 | 0,00 | 0,01 | 0,02 | 0,02 |
| CaO | 0,03 | 0,01 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,02 | 0,01 | 0,03 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,02 |
| Al ₂ O ₃ | 0,01 | 0,01 | 0,00 | 0,03 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,02 | 0,00 | 0,00 | 0,02 | 0,01 | 0,01 |
| CoO | 0,06 | 0,00 | 0,09 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,06 | 0,01 | 0,03 | 0,00 | 0,06 | 0,00 | 0,02 | 0,00 |
| Сумма | 100,42 | 100,46 | 100,40 | 100,67 | 101,01 | 101,26 | 100,67 | 99,94 | 99,68 | 100,11 | 99,92 | 100,21 | 100,01 | 100,74 | 100,00 |
| Формульные коэффициенты в расчете на 3 катиона | | | | | | | | | | | | | | | |
| Si | 1,00 | 1,00 | 0,99 | 0,99 | 0,99 | 0,98 | 0,99 | 0,99 | 0,99 | 0,99 | 0,99 | 0,99 | 0,99 | 0,99 | 0,98 |
| Mg | 1,83 | 1,85 | 1,85 | 1,93 | 1,92 | 1,95 | 1,95 | 1,95 | 1,95 | 1,95 | 1,95 | 1,85 | 1,85 | 1,95 | 1,96 |
| Fe | 0,17 | 0,14 | 0,14 | 0,07 | 0,08 | 0,05 | 0,05 | 0,04 | 0,05 | 0,05 | 0,04 | 0,14 | 0,15 | 0,05 | 0,05 |
| Ni | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| Mn | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Cr | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Ca | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Al | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Co | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Fa, % | 8,46 | 6,99 | 7,26 | 3,43 | 3,77 | 2,30 | 2,34 | 2,10 | 2,28 | 2,27 | 2,22 | 7,21 | 7,49 | 2,73 | 2,58 |
| T, °C | 671 | 624 | 599 | 625 | 650 | 631 | 617 | 604 | 631 | 601 | 581 | 597 | 599 | 659 | 645 |
| dlog fO ₂ (FMQ) | 1,1 | 2,2 | 2,0 | 2,7 | 2,9 | 2,8 | 2,7 | 3,1 | 3,2 | 1,9 | 1,6 | 3,9 | 2,5 | 2,8 | 2,9 |

Продолжение прилож. 2

| № обр. | РПШ-92 ц | РПШ-92 к | РПШ-94 ц | РПШ-94 к | РПШ-96 ц | РПШ-96 к | РПШ-101 ц | РПШ-101 к | РПШ-104 ц | РПШ-104 к | РПШ-510-9 ц | РПШ-510-9 к | РПШ-510-19 ц | РПШ-510-19 к | РПШ-510-24 ц |
|--|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|
| SiO ₂ | 41,76 | 41,45 | 41,95 | 42,14 | 41,99 | 41,61 | 41,59 | 41,70 | 42,19 | 42,29 | 41,22 | 40,82 | 40,76 | 41,08 | 41,78 |
| MgO | 54,17 | 54,01 | 55,12 | 55,32 | 54,96 | 54,39 | 53,48 | 53,43 | 55,24 | 55,35 | 52,00 | 51,75 | 51,78 | 51,10 | 54,94 |
| FeO | 3,46 | 3,56 | 2,19 | 2,26 | 2,39 | 2,63 | 5,13 | 4,90 | 2,40 | 2,39 | 6,39 | 6,49 | 7,70 | 7,36 | 3,11 |
| NiO | 0,44 | 0,46 | 0,81 | 0,79 | 0,65 | 0,63 | 0,40 | 0,47 | 0,60 | 0,62 | 0,41 | 0,44 | 0,35 | 0,36 | 0,51 |
| MnO | 0,09 | 0,05 | 0,04 | 0,05 | 0,03 | 0,07 | 0,08 | 0,07 | 0,06 | 0,05 | 0,15 | 0,11 | 0,08 | 0,15 | 0,06 |
| Cr ₂ O ₃ | 0,02 | 0,02 | 0,12 | 0,12 | 0,04 | 0,02 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,03 | 0,06 | 0,03 | 0,00 | 0,01 | 0,04 |
| CaO | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,02 | 0,00 | 0,02 | 0,00 | 0,00 | 0,02 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,01 |
| Al ₂ O ₃ | 0,03 | 0,00 | 0,02 | 0,03 | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,00 | 0,04 | 0,01 | 0,04 | 0,01 | 0,02 |
| CoO | 0,05 | 0,03 | 0,00 | 0,03 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,03 | 0,00 | 0,06 | 0,08 | 0,03 | 0,04 | 0,00 |
| Сумма | 100,01 | 99,59 | 100,24 | 100,74 | 100,08 | 99,36 | 100,70 | 100,59 | 100,53 | 100,73 | 100,34 | 99,72 | 100,76 | 100,12 | 100,46 |
| Формульные коэффициенты в расчете на 3 катиона | | | | | | | | | | | | | | | |
| Si | 0,99 | 0,99 | 0,99 | 0,99 | 1,00 | 0,99 | 0,99 | 0,99 | 1,00 | 1,00 | 0,99 | 0,99 | 0,98 | 0,99 | 0,99 |
| Mg | 1,92 | 1,93 | 1,94 | 1,94 | 1,94 | 1,94 | 1,90 | 1,90 | 1,94 | 1,94 | 1,86 | 1,87 | 1,86 | 1,84 | 1,94 |
| Fe | 0,07 | 0,07 | 0,04 | 0,04 | 0,05 | 0,05 | 0,10 | 0,10 | 0,05 | 0,05 | 0,13 | 0,13 | 0,15 | 0,15 | 0,06 |
| Ni | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| Mn | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Cr | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Ca | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Al | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Co | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Fa, % | 3,46 | 3,57 | 2,18 | 2,24 | 2,38 | 2,64 | 5,11 | 4,89 | 2,38 | 2,37 | 6,45 | 6,57 | 7,70 | 7,48 | 3,08 |
| T, °C | 609 | 628 | 617 | 612 | 614 | 629 | 657 | 643 | 614 | 608 | 597 | 580 | 610 | 595 | 630 |
| dlog fO ₂ (FMQ) | 3,6 | 3,0 | 2,9 | 2,9 | 3,2 | 2,9 | 2,8 | 2,6 | 2,8 | 2,8 | 3,2 | 3,7 | 4,7 | 4,8 | 3,3 |

| № обр. | ППШ-510-24 к | ППШ-510-24 к к акц. | ППШ-510-24 к акц. | ППШ-510-24 к акц. | 6-61 5-1 II | 6-61 5-1 I к | 6-630-2 II | БП3-600- 01-05 | БП3-600- 02-04 | БП-8-600- 01-02 | БП-8-600- 01-04 | БП-8-600- 01-06 | БП-8-600- 01-07 | БП-8-600- 02-01 | У-18/1 | У-18/2 |
|--|--------------|------------------------|----------------------|----------------------|-------------|--------------|------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------|--------|
| SiO ₂ | 41,69 | 41,58 | 41,38 | 41,98 | 41,76 | 41,96 | 40,51 | 41,12 | 41,00 | 40,76 | 40,87 | 40,92 | 40,68 | 41,88 | 41,81 | |
| MgO | 54,78 | 53,66 | 53,29 | 55,11 | 54,93 | 55,13 | 55,79 | 54,86 | 55,37 | 55,96 | 56,37 | 56,53 | 55,09 | 53,33 | 52,91 | |
| FeO | 3,10 | 4,55 | 4,42 | 2,99 | 3,09 | 2,53 | 3,53 | 2,95 | 2,94 | 3,25 | 2,93 | 2,42 | 4,25 | 5,06 | 5,07 | |
| NiO | 0,50 | 0,43 | 0,39 | 0,66 | 0,65 | 0,64 | 0,50 | 0,63 | 0,69 | 0,69 | 0,59 | 0,72 | 0,55 | 0,51 | 0,42 | |
| MnO | 0,08 | 0,04 | 0,08 | 0,08 | 0,05 | 0,08 | 0,06 | 0,06 | 0,03 | 0,04 | 0,06 | 0,02 | 0,09 | 0,00 | 0,00 | |
| Cr ₂ O ₃ | 0,03 | 0,06 | 0,02 | 0,08 | 0,00 | 0,01 | 0,04 | 0,02 | 0,03 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,03 | 0,00 | 0,00 | |
| CaO | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,01 | 0,00 | 0,06 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,03 | |
| Al ₂ O ₃ | 0,03 | 0,02 | 0,02 | 0,00 | 0,04 | 0,00 | 0,02 | 0,02 | 0,03 | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,00 | |
| CoO | 0,12 | 0,03 | 0,00 | 0,00 | 0,04 | 0,05 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,04 | 0,00 | |
| Сумма | 100,33 | 100,38 | 99,60 | 100,92 | 100,58 | 100,40 | 100,52 | 99,66 | 100,09 | 100,72 | 100,82 | 100,62 | 100,71 | 100,84 | 100,24 | |
| Формульные коэффициенты в расчете на 3 катиона | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Si | 0,99 | 0,99 | 0,99 | 0,99 | 0,99 | 0,99 | 0,96 | 0,98 | 0,97 | 0,96 | 0,96 | 0,96 | 0,96 | 1,00 | 1,00 | |
| Mg | 1,94 | 1,91 | 1,91 | 1,94 | 1,94 | 1,94 | 1,96 | 1,95 | 1,96 | 1,96 | 1,97 | 1,98 | 1,94 | 1,89 | 1,89 | |
| Fe | 0,06 | 0,09 | 0,09 | 0,06 | 0,06 | 0,05 | 0,07 | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,05 | 0,08 | 0,10 | 0,10 | |
| Ni | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | |
| Mn | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |
| Cr | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |
| Ca | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |
| Al | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |
| Co | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |
| F ₀ , % | 3,08 | 4,54 | 4,45 | 2,95 | 3,06 | 2,51 | 3,43 | 2,93 | 2,89 | 3,16 | 2,83 | 2,35 | 4,15 | 5,05 | 5,10 | |
| T, °C | 626 | 613 | 597 | 657 | 673 | 582 | 704 | 693 | 631 | 623 | 682 | 659 | 641 | 664 | 648 | |
| dlog fO ₂ (FMQ) | 3,3 | 2,7 | 2,9 | 2,6 | 2,5 | 2,9 | 2,1 | 2,6 | 2,4 | 2,5 | 2,8 | 2,7 | 2,1 | 1,5 | 1,4 | |

Продолжение прилож. 2

| № обр. | Y-51/2 | Y-51/2 к | Y-51/2 ц | Y-53/1 р/в | Y-54/1 у/в | Y-59/2 | Y-64/2 с/в | Y-64/2 у/в | Y-94/1 | Y-94/3 | Y-94/4 | Y-95/1 | Y-101/1 | Y-130/1 | Y-162/1 |
|--|--------|----------|----------|------------|------------|--------|------------|------------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|
| SiO ₂ | 42,15 | 41,29 | 41,51 | 42,34 | 42,22 | 42,33 | 41,12 | 41,87 | 42,98 | 42,47 | 42,57 | 41,95 | 41,63 | 42,18 | 42,22 |
| MgO | 54,72 | 54,68 | 53,99 | 53,86 | 54,23 | 54,11 | 52,31 | 53,79 | 54,03 | 54,13 | 54,46 | 52,53 | 52,80 | 53,90 | 53,87 |
| FeO | 2,33 | 3,36 | 3,51 | 3,82 | 3,09 | 2,97 | 2,57 | 3,62 | 3,10 | 3,41 | 3,01 | 5,69 | 5,29 | 3,35 | 3,70 |
| NiO | 1,19 | 0,82 | 0,87 | 0,71 | 0,57 | 0,62 | 0,49 | 0,58 | 0,41 | 0,71 | 0,42 | 0,43 | 0,41 | 0,63 | 0,40 |
| MnO | 0,00 | 0,03 | 0,06 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Cr ₂ O ₃ | 0,16 | 0,00 | 0,04 | 0,05 | 0,04 | 0,07 | 0,21 | 0,00 | 0,09 | 0,08 | 0,00 | 0,06 | 0,05 | 0,02 | 0,10 |
| CaO | 0,02 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,04 | 0,02 | 0,01 | 0,00 | 0,02 | 0,03 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,02 | 0,00 |
| Al ₂ O ₃ | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,04 | 0,01 | 0,04 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,00 | 0,04 | 0,04 | 0,01 | 0,00 | 0,03 |
| CoO | 0,04 | 0,02 | 0,02 | 0,06 | 0,04 | 0,00 | 0,03 | 0,00 | 0,03 | 0,04 | 0,00 | 0,03 | 0,00 | 0,01 | 0,00 |
| Сумма | 100,61 | 100,20 | 100,01 | 100,88 | 100,24 | 100,16 | 96,75 | 99,88 | 100,68 | 100,87 | 100,50 | 100,74 | 100,19 | 100,11 | 100,32 |
| Формульные коэффициенты в расчете на 3 катиона | | | | | | | | | | | | | | | |
| Si | 1,00 | 0,98 | 0,99 | 1,00 | 1,00 | 1,01 | 1,01 | 1,00 | 1,02 | 1,01 | 1,01 | 1,00 | 1,00 | 1,01 | 1,00 |
| Mg | 1,93 | 1,94 | 1,92 | 1,90 | 1,92 | 1,92 | 1,92 | 1,92 | 1,91 | 1,91 | 1,92 | 1,87 | 1,89 | 1,91 | 1,91 |
| Fe | 0,05 | 0,07 | 0,07 | 0,08 | 0,06 | 0,06 | 0,05 | 0,07 | 0,06 | 0,07 | 0,06 | 0,11 | 0,11 | 0,07 | 0,07 |
| Ni | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| Mn | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Cr | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Ca | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Al | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Co | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Fa, % | 2,33 | 3,33 | 3,52 | 3,83 | 3,10 | 2,99 | 2,68 | 3,64 | 3,12 | 3,41 | 3,01 | 5,73 | 5,32 | 3,37 | 3,71 |
| T, °C | 614 | 714 | 725 | 630 | 629 | 609 | 581 | 653 | 591 | 650 | 625 | 680 | 604 | 628 | 592 |
| dlog fO ₂ (FMQ) | 2,3 | 1,5 | 1,1 | 1,7 | 1,7 | 2,3 | 2,2 | 1,8 | 2,2 | 1,9 | 2,1 | 0,4 | 2,3 | 2,8 | 4,4 |

| № обр. | Y-167/2 | Y-187/8 | Y-188/1 | Y-189/1 | Y-190/1 | Y-195/6 | Y-201/1 | Y-201/3 | Y-205/2 | Y-261/4 | Y-300/5 ц | Y-300/5 к | Y-433/1 ц | Y-433/1 к | Y-434/4 к |
|--|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| SiO ₂ | 42,58 | 41,03 | 41,91 | 42,44 | 42,01 | 42,47 | 42,59 | 42,77 | 41,69 | 40,14 | 40,55 | 40,68 | 40,54 | 41,10 | 41,45 |
| MgO | 54,46 | 52,27 | 52,20 | 52,56 | 53,43 | 52,19 | 54,62 | 53,31 | 52,96 | 51,15 | 53,92 | 53,77 | 52,58 | 52,61 | 55,33 |
| FeO | 2,17 | 5,97 | 6,12 | 5,36 | 4,67 | 5,01 | 2,76 | 3,93 | 5,07 | 6,04 | 5,05 | 5,00 | 6,35 | 6,00 | 2,44 |
| NiO | 0,82 | 0,36 | 0,46 | 0,46 | 0,52 | 0,44 | 0,67 | 0,61 | 0,46 | 1,83 | 0,44 | 0,42 | 0,41 | 0,39 | 0,66 |
| MnO | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,17 | 0,08 | 0,04 | 0,09 | 0,11 | 0,04 |
| Cr ₂ O ₃ | 0,03 | 0,05 | 0,06 | 0,06 | 0,04 | 0,01 | 0,00 | 0,11 | 0,03 | 0,54 | 0,03 | 0,00 | 0,00 | 0,03 | 0,09 |
| CaO | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,03 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,04 | 0,02 | 0,02 | 0,01 | 0,03 | 0,02 |
| Al ₂ O ₃ | 0,00 | 0,00 | 0,02 | 0,01 | 0,03 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,00 | 0,03 | 0,06 | 0,00 | 0,03 |
| CoO | 0,06 | 0,00 | 0,06 | 0,00 | 0,03 | 0,01 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,02 | 0,00 | 0,03 | 0,06 | 0,00 | 0,03 |
| Сумма | 100,13 | 99,68 | 100,83 | 100,92 | 100,73 | 100,14 | 100,67 | 100,74 | 100,22 | 99,93 | 100,09 | 99,96 | 100,04 | 100,27 | 100,06 |
| Формульные коэффициенты в расчете на 3 катиона | | | | | | | | | | | | | | | |
| Si | 1,01 | 0,99 | 1,00 | 1,01 | 1,00 | 1,02 | 1,01 | 1,02 | 1,00 | 0,97 | 0,97 | 0,97 | 0,98 | 0,99 | 0,98 |
| Mg | 1,93 | 1,88 | 1,86 | 1,87 | 1,90 | 1,87 | 1,92 | 1,89 | 1,89 | 1,85 | 1,92 | 1,92 | 1,89 | 1,88 | 1,95 |
| Fe | 0,04 | 0,12 | 0,12 | 0,11 | 0,09 | 0,10 | 0,05 | 0,08 | 0,10 | 0,12 | 0,10 | 0,10 | 0,13 | 0,12 | 0,05 |
| Ni | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,04 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| Mn | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Cr | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Ca | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Al | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Co | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Fa, % | 2,19 | 6,02 | 6,17 | 5,41 | 4,67 | 5,11 | 2,76 | 3,97 | 5,10 | 6,21 | 4,99 | 4,96 | 6,35 | 6,01 | 2,41 |
| T, °C | 629 | 683 | 670 | 668 | 668 | 660 | 627 | 615 | 665 | 922 | 744 | 696 | 823 | 681 | 566 |
| dlog fO ₂ (FMQ) | 3,1 | 1,4 | 0,3 | 0,9 | 1,6 | 2,1 | 2,6 | 2,6 | 1,8 | 1,0 | 4,2 | 4,2 | 0,5 | 1,4 | 2,4 |

Продолжение прилож. 2

| № обр. | Y-434/4 ц | Y-434/4 к | Y-434/4 y/в | Y-524/4 | Y-537/1 | Y-569/1 | Y-569/2 | Y-587/2 | Y-630/2 | Y-631/2 | Y-652/2 | Y-1005/3 | Y-1026/1 | Y-1026/3 | Y-1027/1 |
|--|-----------|-----------|----------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|----------|
| SiO ₂ | 41,46 | 41,29 | 41,20 | 41,80 | 42,93 | 41,75 | 41,14 | 41,77 | 42,05 | 41,80 | 41,29 | 41,22 | 41,30 | 41,02 | 41,11 |
| MgO | 54,90 | 54,75 | 55,02 | 53,22 | 53,71 | 53,83 | 53,12 | 54,65 | 53,39 | 50,73 | 55,08 | 54,50 | 52,72 | 51,55 | 53,11 |
| FeO | 3,07 | 3,26 | 3,29 | 4,99 | 3,34 | 3,84 | 4,92 | 2,80 | 3,74 | 7,67 | 2,95 | 3,25 | 5,79 | 6,89 | 5,14 |
| NiO | 0,73 | 0,73 | 0,73 | 0,60 | 0,62 | 0,40 | 0,49 | 0,54 | 0,30 | 0,22 | 0,63 | 0,66 | 0,36 | 0,28 | 0,32 |
| MnO | 0,06 | 0,06 | 0,05 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,07 | 0,06 | 0,07 | 0,07 | 0,00 | 0,04 | 0,15 | 0,14 | 0,04 |
| Cr ₂ O ₃ | 0,00 | 0,02 | 0,00 | 0,01 | 0,03 | 0,11 | 0,01 | 0,05 | 0,00 | 0,18 | 0,00 | 0,05 | 0,01 | 0,00 | 0,09 |
| CaO | 0,04 | 0,02 | 0,00 | 0,03 | 0,02 | 0,01 | 0,03 | 0,00 | 0,03 | 0,01 | 0,00 | 0,02 | 0,01 | 0,00 | 0,02 |
| Al ₂ O ₃ | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,02 | 0,03 | 0,05 | 0,01 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,02 | 0,03 |
| CoO | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,03 | 0,03 | 0,02 | 0,00 | 0,00 | 0,03 | 0,00 | 0,08 | 0,01 | 0,10 | 0,00 |
| Сумма | 100,26 | 100,13 | 100,29 | 100,65 | 100,68 | 99,99 | 99,83 | 99,92 | 99,59 | 100,71 | 99,96 | 99,82 | 100,35 | 100,00 | 99,86 |
| Формульные коэффициенты в расчете на 3 катгона | | | | | | | | | | | | | | | |
| Si | 0,98 | 0,98 | 0,98 | 1,00 | 1,02 | 1,00 | 0,99 | 0,99 | 1,01 | 1,01 | 0,98 | 0,98 | 0,99 | 0,99 | 0,99 |
| Mg | 1,94 | 1,94 | 1,94 | 1,89 | 1,90 | 1,92 | 1,90 | 1,94 | 1,91 | 1,83 | 1,95 | 1,94 | 1,88 | 1,86 | 1,90 |
| Fe | 0,06 | 0,06 | 0,07 | 0,10 | 0,07 | 0,08 | 0,10 | 0,06 | 0,08 | 0,15 | 0,06 | 0,06 | 0,12 | 0,14 | 0,10 |
| Ni | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,00 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| Mn | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Cr | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Ca | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Al | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Co | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Fa, % | 3,04 | 3,23 | 3,25 | 5,00 | 3,37 | 3,85 | 4,94 | 2,79 | 3,78 | 7,82 | 2,92 | 3,24 | 5,80 | 6,98 | 5,15 |
| T, °C | 622 | 636 | 638 | 732 | 642 | 637 | 680 | 664 | 670 | 869 | 647 | 655 | 692 | 677 | 660 |
| dlog fO ₂ (FMQ) | 2,0 | 1,8 | 1,8 | 1,1 | 1,5 | 2,6 | 2,3 | 3,0 | 1,6 | 0,6 | 3,2 | 2,6 | 1,4 | 1,4 | 1,3 |

| № обр. | Y-1027/3 | Y-1028/1 | Y-1032/2 | Y-1037/1 | Y-1067/3 | Y-1079/1 ц | Y-1079/1 к | Y-1079/1 п | Y-1080/4 | Y-1118/3 | Y-1118/4 | Y-1145/2 | Y-1145/3 | Y-1190/4 | Y-1204/2 |
|--|----------|----------|----------|----------|----------|------------|------------|------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| SiO ₂ | 41,02 | 41,38 | 41,00 | 41,26 | 41,21 | 41,44 | 41,30 | 41,60 | 41,22 | 41,33 | 40,94 | 41,19 | 41,30 | 41,92 | 41,04 |
| MgO | 52,23 | 54,09 | 53,11 | 52,65 | 54,90 | 55,09 | 55,43 | 55,47 | 53,79 | 52,45 | 53,67 | 54,13 | 54,58 | 54,76 | 52,27 |
| FeO | 6,37 | 3,84 | 4,96 | 4,37 | 2,56 | 2,00 | 1,94 | 2,09 | 3,98 | 5,64 | 3,40 | 3,75 | 2,80 | 2,63 | 4,48 |
| NiO | 0,31 | 0,17 | 0,44 | 0,49 | 0,63 | 0,71 | 0,72 | 0,69 | 0,49 | 0,40 | 0,59 | 0,65 | 0,62 | 0,64 | 0,36 |
| MnO | 0,07 | 0,05 | 0,03 | 0,12 | 0,01 | 0,06 | 0,00 | 0,03 | 0,02 | 0,09 | 0,02 | 0,08 | 0,10 | | |
| Cr ₂ O ₃ | 0,01 | 0,00 | 0,04 | 0,00 | 0,22 | 1,16 | 0,86 | 0,41 | 0,00 | 0,00 | 0,87 | 0,01 | 0,00 | 0,03 | 0,01 |
| CaO | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,03 | 0,00 | 0,03 | 0,00 | 0,01 | 0,03 | 0,03 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,02 | 0,01 |
| Al ₂ O ₃ | 0,03 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,11 | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,05 | 0,00 | 0,01 | 0,01 | 0,03 |
| CoO | 0,02 | 0,06 | 0,04 | 0,00 | 0,04 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,03 | 0,00 | 0,03 | 0,03 | 0,00 | 0,02 | 0,00 |
| Сумма | 100,06 | 99,59 | 99,62 | 98,92 | 99,58 | 100,60 | 100,27 | 100,31 | 99,57 | 99,95 | 99,58 | 99,84 | 99,41 | 100,03 | 98,20 |
| Формульные коэффициенты в расчете на 3 катиона | | | | | | | | | | | | | | | |
| Si | 0,99 | 0,99 | 0,99 | 1,00 | 0,98 | 0,98 | 0,98 | 0,98 | 0,99 | 0,99 | 0,98 | 0,98 | 0,99 | 1,00 | 1,00 |
| Mg | 1,87 | 1,93 | 1,90 | 1,90 | 1,95 | 1,94 | 1,95 | 1,95 | 1,92 | 1,88 | 1,92 | 1,93 | 1,94 | 1,94 | 1,90 |
| Fe | 0,13 | 0,08 | 0,10 | 0,09 | 0,05 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,08 | 0,11 | 0,07 | 0,07 | 0,06 | 0,05 | 0,09 |
| Ni | 0,01 | 0,00 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| Mn | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Cr | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,02 | 0,02 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,02 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Ca | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Al | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Co | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Fa, % | 6,40 | 3,83 | 4,98 | 4,45 | 2,55 | 2,00 | 1,93 | 2,07 | 3,99 | 5,69 | 3,43 | 3,74 | 2,80 | 2,62 | 4,59 |
| T, °C | 689 | 652 | 685 | 650 | 638 | 591 | 586 | 603 | 666 | 685 | 627 | 682 | 633 | 637 | 696 |
| dlog fO ₂ (FMQ) | 1,3 | 2,0 | 1,2 | 2,6 | 3,4 | 3,7 | 3,8 | 3,6 | 3,1 | 0,8 | 2,0 | 2,7 | 2,7 | 2,8 | 2,7 |

Продолжение прилож. 2

| № обр. | Y-1296/2 с/з | Y-1296/2 м/з | Y-1296/3 | Y-1304/1 y/b | Y-1304/1 p/b | Y-1304/13 с/б | Y-1305/1 | Y-1511/1 ц | Y-1511/1 к | Y-1511/2 ц | Y-1511/2 к | Y-1528/2 | Y-1528/3 | Y-1528/3 | Y-1528/4 |
|--|-----------------|-----------------|----------|-----------------|-----------------|------------------|----------|------------|------------|------------|------------|----------|----------|----------|----------|
| SiO ₂ | 41,36 | 41,60 | 41,44 | 41,30 | 41,72 | 42,10 | 42,08 | 41,34 | 41,57 | 41,09 | 41,19 | 41,61 | 41,46 | 41,69 | 41,67 |
| MgO | 52,39 | 52,27 | 52,81 | 52,86 | 53,58 | 54,53 | 54,15 | 55,26 | 55,32 | 55,00 | 55,12 | 54,62 | 54,63 | 54,76 | 55,04 |
| FeO | 5,07 | 5,25 | 4,88 | 4,81 | 4,26 | 3,54 | 3,15 | 3,04 | 2,54 | 3,69 | 3,56 | 3,61 | 3,53 | 3,48 | 3,33 |
| NiO | 0,39 | 0,34 | 0,43 | 0,29 | 0,43 | 0,62 | 0,73 | 0,37 | 0,34 | 0,51 | 0,48 | 0,34 | 0,53 | 0,50 | 0,14 |
| MnO | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,04 | 0,04 | 0,06 | 0,05 | 0,04 | 0,09 | 0,00 | 0,04 |
| Cr ₂ O ₃ | 0,07 | 0,02 | 0,02 | 0,00 | 0,00 | 0,02 | 0,00 | 0,07 | 0,12 | 0,00 | 0,00 | 0,05 | 0,04 | 0,00 | 0,07 |
| CaO | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,03 | 0,01 | 0,03 | 0,02 | 0,04 | 0,03 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,00 |
| Al ₂ O ₃ | 0,04 | 0,01 | 0,01 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,02 | 0,00 | 0,00 | 0,12 | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,04 | 0,05 |
| CoO | 0,03 | 0,00 | 0,00 | 0,03 | 0,09 | 0,00 | 0,07 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Сумма | 99,36 | 99,50 | 99,61 | 99,32 | 100,10 | 100,84 | 100,22 | 100,16 | 99,96 | 100,48 | 100,44 | 100,32 | 100,35 | 100,49 | 100,34 |
| Формульные коэффициенты в расчете на 3 катиона | | | | | | | | | | | | | | | |
| Si | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 0,98 | 0,99 | 0,97 | 0,97 | 0,99 | 0,98 | 0,99 | 0,99 |
| Mg | 1,89 | 1,88 | 1,89 | 1,90 | 1,91 | 1,92 | 1,92 | 1,95 | 1,95 | 1,94 | 1,94 | 1,93 | 1,93 | 1,93 | 1,94 |
| Fe | 0,10 | 0,11 | 0,10 | 0,10 | 0,09 | 0,07 | 0,06 | 0,06 | 0,05 | 0,07 | 0,07 | 0,07 | 0,07 | 0,07 | 0,07 |
| Ni | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,00 |
| Mn | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Cr | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Ca | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Al | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Co | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Fa, % | 5,15 | 5,33 | 4,93 | 4,86 | 4,27 | 3,51 | 3,16 | 2,99 | 2,51 | 3,63 | 3,50 | 3,58 | 3,50 | 3,44 | 3,28 |
| T, °C | 697 | 693 | 692 | 670 | 674 | 692 | 683 | 630 | 598 | 670 | 652 | 698 | 654 | 648 | 645 |
| dlog fO ₂ (FMQ) | 1,7 | 1,7 | 2,0 | 2,6 | 2,9 | 2,2 | 2,0 | 2,2 | 2,8 | 1,8 | 1,9 | 2,4 | 2,1 | 2,1 | 2,3 |

| № обр. | У-3507/5 | У-3508/4 ц | У-3508/4 к | У-3510/1 ц | У-3510/1 к |
|--|----------|------------|------------|------------|------------|
| SiO ₂ | 41,60 | 41,90 | 41,70 | 41,62 | 41,88 |
| MgO | 54,09 | 54,27 | 54,41 | 54,24 | 54,39 |
| FeO | 3,52 | 3,45 | 3,11 | 3,48 | 3,33 |
| NiO | 0,52 | 0,56 | 0,49 | 0,56 | 0,53 |
| MnO | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,04 | 0,01 |
| Cr ₂ O ₃ | 0,06 | 0,09 | 0,16 | 0,04 | 0,02 |
| CaO | 0,06 | 0,01 | 0,00 | 0,01 | 0,04 |
| Al ₂ O ₃ | 0,04 | 0,00 | 0,02 | 0,01 | 0,03 |
| CoO | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Сумма | 99,95 | 100,34 | 99,95 | 100,00 | 100,23 |
| Формульные коэффициенты в расчете на 3 катиона | | | | | |
| Si | 0,99 | 1,00 | 0,99 | 0,99 | 1,00 |
| Mg | 1,92 | 1,92 | 1,93 | 1,93 | 1,93 |
| Fe | 0,07 | 0,07 | 0,06 | 0,07 | 0,07 |
| Ni | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| Mn | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Cr | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Ca | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Al | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Co | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Fa, % | 3,52 | 3,44 | 3,11 | 3,47 | 3,32 |
| T, °C | 652 | 656 | 619 | 648 | 623 |
| dlog _f O ₂ (FMQ) | 2,1 | 2,4 | 2,5 | 1,7 | 2,1 |

Примечание. Fa = Fe/(Fe + Mg), ф.е. Пробы с литером «К-», а также Е-2010–2012 – рудопроявление Енгайское; РЩ, Е-217 – 222, БП, 6-616, 6-630 – месторождение Центральное; «У-» – Юго-Западное рудное поле.

Приложение 3

Химический состав ультрамафитов массива Рай-Из (мас. %)

| № обр. | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | FeO | MgO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | Cl ₂ O ₃ | П.лп. | Сумма |
|---------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|-------|------|-------------------|------------------|--------------------------------|-------|--------|
| РШ-1 | 40,84 | 0,02 | 0,60 | 3,89 | 5,08 | 43,43 | 0,83 | 0,06 | 0,01 | 0,42 | 5,32 | 100,07 |
| РШ-2 | 39,10 | 0,03 | 0,90 | 3,97 | 4,46 | 42,25 | 0,55 | 0,05 | 0,02 | 0,36 | 8,80 | 100,06 |
| РШ-4 | 39,76 | 0,04 | 1,50 | 3,60 | 5,15 | 44,97 | 0,00 | 0,05 | 0,01 | 0,37 | 5,08 | 100,14 |
| РШ-6 | 38,74 | 0,04 | 0,72 | 5,25 | 2,95 | 41,86 | 0,00 | 0,03 | 0,01 | 0,37 | 9,76 | 99,16 |
| РШ-10 | 40,06 | 0,03 | 0,76 | 2,42 | 6,65 | 46,73 | 0,00 | 0,06 | 0,01 | 0,34 | 1,62 | 98,42 |
| РШ-12 | 40,66 | 0,03 | 0,86 | 2,35 | 6,10 | 45,55 | 0,27 | 0,06 | 0,01 | 0,65 | 2,38 | 98,66 |
| РШ-14 | 40,32 | 0,03 | 0,50 | 3,00 | 5,70 | 46,42 | 0,14 | 0,03 | 0,02 | 0,40 | 3,46 | 99,69 |
| РШ-19-1 | 39,86 | 0,03 | 0,54 | 3,73 | 5,22 | 44,97 | 0,00 | 0,06 | 0,01 | 0,40 | 4,86 | 99,27 |
| РШ-19-2 | 41,78 | 0,04 | 1,72 | 3,49 | 5,08 | 42,63 | 0,83 | 0,08 | 0,02 | 0,39 | 4,60 | 100,28 |
| РШ-21 | 39,70 | 0,07 | 0,92 | 4,46 | 4,74 | 44,97 | 0,00 | 0,05 | 0,03 | 0,46 | 4,64 | 99,55 |
| РШ-22 | 38,62 | 0,05 | 0,58 | 3,57 | 5,62 | 45,75 | 0,00 | 0,09 | 0,04 | 0,42 | 4,06 | 98,41 |
| РШ-23 | 39,64 | 0,04 | 0,62 | 3,70 | 5,42 | 45,47 | 0,00 | 0,07 | 0,01 | 0,44 | 3,34 | 98,34 |
| РШ-25 | 39,62 | 0,03 | 0,36 | 2,64 | 6,38 | 47,50 | 0,27 | 0,05 | 0,02 | 0,34 | 2,10 | 99,02 |
| РШ-27 | 40,98 | 0,04 | 0,70 | 2,48 | 6,52 | 46,33 | 0,27 | 0,06 | 0,01 | 0,46 | 1,04 | 98,62 |
| РШ-29 | 40,68 | 0,04 | 1,28 | 2,95 | 6,10 | 46,04 | 0,00 | 0,05 | 0,02 | 0,33 | 3,32 | 100,49 |
| РШ-30 | 38,70 | 0,03 | 0,52 | 3,21 | 5,83 | 48,18 | 0,00 | 0,06 | 0,03 | 0,40 | 3,76 | 100,37 |
| РШ-31 | 40,76 | 0,03 | 0,64 | 2,64 | 6,38 | 46,04 | 0,14 | 0,06 | 0,02 | 0,36 | 2,30 | 99,08 |
| РШ-32 | 38,94 | 0,03 | 1,12 | 3,79 | 5,35 | 45,36 | 0,00 | 0,07 | 0,01 | 0,42 | 4,92 | 99,59 |
| РШ-33 | 38,12 | 0,04 | 0,66 | 3,88 | 4,18 | 44,29 | 0,00 | 0,04 | 0,01 | 0,40 | 8,12 | 99,31 |
| РШ-34 | 39,28 | 0,04 | 0,72 | 4,61 | 4,25 | 44,00 | 0,27 | 0,05 | 0,01 | 0,39 | 7,20 | 100,31 |
| РШ-36 | 39,20 | 0,03 | 0,50 | 4,28 | 4,18 | 45,07 | 0,00 | 0,05 | 0,01 | 0,42 | 6,60 | 99,87 |
| РШ-38 | 38,38 | 0,03 | 0,62 | 4,05 | 4,39 | 44,00 | 0,00 | 0,03 | 0,03 | 0,39 | 6,80 | 98,28 |
| РШ-39 | 41,82 | 0,03 | 0,70 | 3,06 | 5,97 | 45,95 | 0,00 | 0,03 | 0,01 | 0,39 | 2,30 | 99,93 |
| РШ-42 | 41,64 | 0,04 | 0,96 | 2,15 | 6,10 | 46,53 | 0,55 | 0,05 | 0,02 | 0,34 | 2,12 | 100,27 |
| РШ-43 | 40,20 | 0,04 | 0,52 | 3,30 | 5,42 | 45,17 | 0,00 | 0,07 | 0,03 | 0,36 | 4,28 | 99,03 |
| РШ-44 | 40,32 | 0,03 | 0,70 | 1,86 | 6,72 | 44,29 | 0,14 | 0,05 | 0,03 | 0,50 | 5,08 | 99,52 |

| № обр. | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | FeO | MgO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | Cr ₂ O ₃ | П.л.п. | Сумма |
|-----------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|-------|------|-------------------|------------------|--------------------------------|--------|-------|
| P-4000-5 | 37,56 | 0,05 | 0,53 | 4,88 | 4,22 | 45,08 | 0,00 | 0,02 | 0,03 | 0,60 | 6,22 | 99,19 |
| P-4000-6 | 35,62 | 0,05 | 0,20 | 5,80 | 2,74 | 42,41 | 0,14 | 0,05 | 0,02 | 0,41 | 11,18 | 98,62 |
| P-4000-7 | 35,24 | 0,05 | 0,92 | 4,45 | 3,17 | 43,30 | 0,28 | 0,03 | 0,03 | 0,54 | 10,88 | 98,89 |
| P-4000-9 | 37,06 | 0,08 | 0,92 | 3,41 | 4,96 | 46,16 | 0,42 | 0,06 | 0,01 | 0,67 | 5,60 | 99,35 |
| P-4000-10 | 37,68 | 0,06 | 0,34 | 4,07 | 3,83 | 45,26 | 0,00 | 0,04 | 0,02 | 0,92 | 6,30 | 98,52 |
| P-4000-13 | 35,64 | 0,06 | 0,43 | 3,81 | 3,41 | 45,87 | 0,00 | 0,05 | 0,01 | 0,78 | 8,58 | 98,64 |
| P-4000-25 | 34,78 | 0,07 | 0,33 | 3,96 | 2,81 | 44,19 | 0,14 | 0,04 | 0,01 | 0,60 | 11,74 | 98,67 |
| P-4000-26 | 35,26 | 0,12 | 0,33 | 3,57 | 3,31 | 44,98 | 0,42 | 0,03 | 0,01 | 0,54 | 10,52 | 99,09 |
| P-4000-27 | 34,48 | 0,09 | 0,40 | 3,54 | 3,34 | 44,58 | 0,42 | 0,06 | 0,02 | 0,39 | 12,22 | 99,54 |
| P-4000-32 | 36,12 | 0,06 | 0,57 | 5,10 | 2,08 | 43,69 | 0,00 | 0,09 | 0,02 | 0,36 | 10,52 | 98,61 |
| P-4000-33 | 35,46 | 0,06 | 0,61 | 4,05 | 2,81 | 44,10 | 0,28 | 0,04 | 0,01 | 0,89 | 10,20 | 98,51 |
| P-4020-1 | 36,32 | 0,04 | 0,17 | 6,46 | 0,56 | 41,25 | 0,14 | 0,01 | 0,02 | 0,22 | 14,64 | 99,95 |
| P-4020-2 | 37,88 | 0,06 | 0,11 | 3,64 | 4,52 | 47,92 | 0,14 | 0,01 | 0,02 | 0,21 | 4,88 | 99,29 |
| P-4020-4 | 37,46 | 0,04 | 0,11 | 3,10 | 3,95 | 47,74 | 0,14 | 0,04 | 0,02 | 0,24 | 6,48 | 99,48 |
| P-4020-5 | 36,76 | 0,04 | 0,15 | 2,78 | 4,52 | 48,33 | 0,14 | 0,03 | 0,02 | 0,29 | 5,88 | 99,09 |
| P-4020-8 | 36,10 | 0,05 | 0,49 | 4,62 | 3,32 | 44,30 | 0,14 | 0,04 | 0,02 | 0,88 | 8,96 | 99,07 |
| P-4020-13 | 37,40 | 0,04 | 0,14 | 2,48 | 5,15 | 48,16 | 0,14 | 0,04 | 0,02 | 0,32 | 5,40 | 99,44 |
| P-4020-16 | 35,98 | 0,05 | 0,28 | 5,28 | 3,10 | 45,51 | 0,14 | 0,04 | 0,02 | 0,88 | 7,74 | 99,15 |
| P-4020-17 | 36,60 | 0,05 | 0,16 | 4,20 | 3,10 | 47,14 | 0,14 | 0,05 | 0,02 | 0,34 | 7,78 | 99,71 |
| P-4020-18 | 37,22 | 0,02 | 0,32 | 3,64 | 3,46 | 45,81 | 0,14 | 0,04 | 0,02 | 0,22 | 8,06 | 99,08 |
| P-4020-19 | 37,16 | 0,00 | 0,28 | 4,20 | 3,25 | 45,87 | 0,28 | 0,10 | 0,10 | 0,30 | 8,32 | 99,99 |
| P-4025-3 | 38,20 | 0,02 | 0,42 | 3,02 | 4,60 | 46,46 | 0,28 | 0,03 | 0,02 | 0,34 | 5,86 | 99,25 |
| P-4025-6 | 33,20 | 0,02 | 0,18 | 5,84 | 1,77 | 43,27 | 0,00 | 0,03 | 0,02 | 0,39 | 14,04 | 98,76 |
| P-4025-8 | 37,48 | 0,03 | 0,50 | 2,69 | 4,25 | 46,86 | 0,00 | 0,01 | 0,02 | 0,32 | 6,60 | 98,76 |
| P-4025-9 | 38,50 | 0,02 | 0,28 | 2,34 | 5,10 | 47,99 | 0,14 | 0,04 | 0,02 | 0,40 | 3,92 | 98,75 |
| P-4025-10 | 38,34 | 0,02 | 0,34 | 2,48 | 5,80 | 48,30 | 0,00 | 0,04 | 0,02 | 0,44 | 3,80 | 99,58 |
| P-4025-11 | 37,20 | 0,02 | 0,26 | 2,71 | 4,88 | 48,50 | 0,00 | 0,05 | 0,02 | 0,40 | 4,84 | 98,88 |
| P-4025-12 | 37,20 | 0,01 | 0,28 | 2,70 | 4,88 | 48,10 | 0,28 | 0,03 | 0,02 | 0,40 | 4,82 | 98,72 |
| P-4025-15 | 37,58 | 0,02 | 0,42 | 3,50 | 4,88 | 45,85 | 0,28 | 0,04 | 0,02 | 0,32 | 5,98 | 98,89 |

Продолжение прилож. 3

| № обр. | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | FeO | MgO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | Cr ₂ O ₃ | П.п.л. | Сумма |
|----------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|-------|-------|-------------------|------------------|--------------------------------|--------|--------|
| E-6/1 | 35,64 | 0,02 | 0,22 | 6,48 | 3,68 | 42,87 | 0,70 | 0,11 | 0,04 | 0,38 | 9,96 | 100,10 |
| E-11/1 | 38,54 | 0,01 | 0,66 | 5,15 | 3,47 | 42,58 | 1,25 | 0,18 | 0,03 | 0,43 | 7,52 | 99,82 |
| E-13/1 | 35,30 | 0,01 | 0,20 | 5,76 | 3,64 | 45,27 | 0,00 | 0,10 | 0,03 | 0,44 | 10,02 | 100,77 |
| E-70/1 | 39,84 | 0,00 | 0,30 | 3,18 | 4,77 | 46,15 | 0,14 | 0,06 | 0,01 | 0,34 | 4,90 | 99,69 |
| E-70/3 | 39,14 | 0,01 | 0,26 | 3,72 | 3,98 | 47,31 | 0,14 | 0,04 | 0,01 | 0,36 | 5,35 | 100,32 |
| E-70/4-1 | 38,40 | 0,03 | 0,32 | 4,61 | 4,60 | 47,00 | 0,00 | 0,08 | 0,01 | 0,51 | 5,12 | 100,68 |
| E-70/4-2 | 38,00 | 0,01 | 0,24 | 3,63 | 4,80 | 47,31 | 0,14 | 0,05 | 0,02 | 0,34 | 4,32 | 98,86 |
| E-70/5 | 42,42 | 0,11 | 1,46 | 3,61 | 3,88 | 37,94 | 6,81 | 0,14 | 0,02 | 0,43 | 3,90 | 100,72 |
| E-70/6 | 95,44 | 0,08 | 0,64 | 0,86 | 0,48 | 2,21 | 0,00 | 0,04 | 0,03 | 0,64 | 0,20 | 100,62 |
| E-75/1 | 36,58 | 0,02 | 0,13 | 4,44 | 3,98 | 46,34 | 0,00 | 0,04 | 0,02 | 0,53 | 7,74 | 99,82 |
| E-76/1 | 37,76 | 0,02 | 0,40 | 4,61 | 3,95 | 45,28 | 0,00 | 0,03 | 0,01 | 0,74 | 6,82 | 99,61 |
| E-77-1 | 38,80 | 0,03 | 0,58 | 4,29 | 4,18 | 43,02 | 0,00 | 0,07 | 0,01 | 0,48 | 7,36 | 98,82 |
| E-78/1 | 38,16 | 0,03 | 0,40 | 7,08 | 2,81 | 45,86 | 0,00 | 0,06 | 0,01 | 0,38 | 5,92 | 100,71 |
| E-78/2 | 37,50 | 0,03 | 0,58 | 5,08 | 3,60 | 45,19 | 0,00 | 0,04 | 0,01 | 0,48 | 8,26 | 100,76 |
| E-79/1 | 37,86 | 0,03 | 0,32 | 4,52 | 5,15 | 45,48 | 0,00 | 0,04 | 0,01 | 0,44 | 5,20 | 99,04 |
| E-80/1 | 39,34 | 0,03 | 0,38 | 3,22 | 4,50 | 47,99 | 0,00 | 0,04 | 0,01 | 0,59 | 3,82 | 99,91 |
| E-81/1 | 38,48 | 0,03 | 0,50 | 4,51 | 4,29 | 42,96 | 0,00 | 0,09 | 0,01 | 0,38 | 7,56 | 98,81 |
| E-86/1 | 40,84 | 0,01 | 0,88 | 4,19 | 4,26 | 41,42 | 1,67 | 0,13 | 0,03 | 0,47 | 6,50 | 100,39 |
| E-86/2 | 37,24 | 0,01 | 0,40 | 4,20 | 5,12 | 45,67 | 0,28 | 0,11 | 0,02 | 0,55 | 5,44 | 99,04 |
| E-86/3 | 50,52 | 0,08 | 2,36 | 2,87 | 2,17 | 25,99 | 11,54 | 0,50 | 0,07 | 0,64 | 4,12 | 100,86 |
| E-92/1 | 35,78 | 0,01 | 0,29 | 5,72 | 3,64 | 44,89 | 0,00 | 0,10 | 0,04 | 0,45 | 9,10 | 100,01 |
| E-127/1 | 45,76 | 0,06 | 1,44 | 3,19 | 5,70 | 41,27 | 0,27 | 0,03 | 0,01 | 0,40 | 1,32 | 99,45 |
| E-136/1 | 37,78 | 0,03 | 0,26 | 4,20 | 4,39 | 46,44 | 0,00 | 0,04 | 0,02 | 0,38 | 6,36 | 99,90 |
| E-136/2 | 52,78 | 0,04 | 0,64 | 2,56 | 1,89 | 29,63 | 8,69 | 0,61 | 0,05 | 0,58 | 3,34 | 100,81 |

| № обр. | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | FeO | MgO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | Cr ₂ O ₃ | П.п.п. | Сумма |
|---------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|-------|------|-------------------|------------------|--------------------------------|--------|--------|
| E-138/4 | 37,50 | 0,03 | 0,48 | 4,72 | 2,27 | 45,38 | 0,42 | 0,05 | 0,02 | 0,46 | 9,40 | 100,73 |
| E-139/1 | 35,70 | 0,05 | 0,92 | 6,00 | 3,36 | 42,54 | 0,70 | 0,03 | 0,01 | 0,40 | 9,74 | 99,45 |
| E-140/1 | 36,08 | 0,02 | 0,18 | 7,31 | 2,02 | 43,73 | 0,42 | 0,05 | 0,02 | 0,24 | 10,88 | 100,95 |
| E-141/1 | 39,06 | 0,04 | 0,74 | 5,44 | 2,99 | 42,96 | 0,00 | 0,06 | 0,01 | 0,34 | 8,38 | 100,02 |
| E-141/2 | 36,54 | 0,02 | 0,42 | 5,96 | 2,81 | 43,74 | 0,00 | 0,04 | 0,01 | 0,72 | 10,62 | 100,87 |
| E-142/1 | 38,12 | 0,05 | 1,00 | 6,12 | 2,53 | 40,50 | 0,00 | 0,13 | 0,01 | 0,44 | 10,96 | 99,86 |
| E-143/1 | 39,70 | 0,02 | 0,85 | 5,26 | 2,54 | 42,16 | 0,00 | 0,07 | 0,02 | 0,35 | 9,66 | 100,63 |
| E-143/2 | 36,52 | 0,02 | 0,32 | 6,04 | 3,60 | 43,06 | 0,27 | 0,05 | 0,05 | 0,72 | 8,88 | 99,53 |
| E-145/1 | 35,70 | 0,03 | 0,90 | 5,13 | 2,78 | 44,03 | 0,00 | 0,04 | 0,01 | 0,90 | 11,22 | 100,73 |
| E-146/1 | 39,50 | 0,03 | 0,83 | 6,38 | 1,85 | 41,22 | 0,00 | 0,04 | 0,01 | 0,31 | 10,60 | 100,77 |
| E-146/2 | 34,26 | 0,03 | 0,32 | 6,13 | 1,61 | 42,77 | 0,00 | 0,05 | 0,01 | 0,45 | 14,90 | 100,53 |
| E-148/1 | 36,04 | 0,03 | 0,32 | 6,09 | 1,68 | 43,83 | 0,00 | 0,04 | 0,01 | 0,32 | 12,48 | 100,83 |
| E-155/1 | 42,02 | 0,02 | 0,74 | 6,76 | 1,37 | 39,00 | 0,00 | 0,08 | 0,01 | 0,42 | 10,42 | 100,84 |
| E-155/2 | 39,00 | 0,03 | 0,58 | 8,03 | 1,99 | 39,88 | 0,00 | 0,04 | 0,02 | 0,34 | 10,78 | 100,69 |
| E-164/1 | 39,90 | 0,02 | 1,48 | 5,02 | 2,37 | 40,06 | 2,02 | 0,10 | 0,03 | 0,42 | 9,30 | 100,72 |
| E-166/1 | 37,44 | 0,01 | 0,33 | 6,54 | 1,24 | 43,15 | 0,00 | 0,08 | 0,02 | 0,39 | 11,54 | 100,73 |
| E-166/2 | 35,74 | 0,02 | 0,20 | 5,48 | 2,81 | 44,48 | 0,28 | 0,04 | 0,01 | 0,32 | 10,96 | 100,34 |
| E-167/1 | 36,92 | 0,01 | 0,40 | 5,04 | 2,41 | 44,99 | 0,56 | 0,08 | 0,03 | 0,41 | 8,30 | 99,15 |
| E-168/1 | 36,86 | 0,01 | 0,39 | 5,12 | 2,92 | 44,61 | 0,70 | 0,13 | 0,05 | 0,37 | 9,38 | 100,54 |
| E-169/1 | 39,36 | 0,02 | 0,69 | 5,84 | 2,23 | 41,71 | 0,28 | 0,11 | 0,03 | 0,31 | 8,62 | 99,20 |
| E-172/1 | 37,70 | 0,02 | 0,60 | 5,95 | 2,10 | 41,23 | 2,22 | 0,11 | 0,03 | 0,28 | 10,42 | 100,66 |
| E-172/2 | 36,13 | 0,02 | 0,58 | 5,42 | 2,61 | 44,41 | 0,70 | 0,13 | 0,03 | 0,40 | 10,44 | 100,87 |
| E-173/1 | 37,24 | 0,01 | 0,64 | 5,21 | 2,06 | 42,67 | 0,56 | 0,13 | 0,04 | 0,61 | 10,82 | 99,99 |

Продолжение прилож. 3

| № обр. | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | FeO | MgO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | Cr ₂ O ₃ | П.пл. | Сумма |
|---------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|-------|------|-------------------|------------------|--------------------------------|-------|--------|
| E-755/1 | 35,96 | 0,01 | 0,30 | 6,28 | 2,11 | 43,41 | 0,59 | 0,02 | 0,01 | 0,67 | 10,68 | 100,06 |
| E-756/1 | 36,52 | 0,02 | 1,32 | 4,13 | 3,45 | 45,27 | 0,85 | 0,03 | 0,01 | 0,64 | 8,60 | 100,84 |
| E-757/1 | 36,12 | 0,01 | 0,36 | 5,00 | 2,41 | 44,75 | 0,44 | 0,03 | 0,01 | 0,55 | 10,40 | 100,08 |
| E-758/1 | 36,14 | 0,01 | 0,28 | 4,84 | 2,81 | 44,44 | 0,44 | 0,06 | 0,01 | 0,43 | 9,92 | 99,38 |
| E-759/1 | 38,54 | 0,02 | 1,35 | 4,08 | 4,36 | 46,06 | 0,56 | 0,04 | 0,01 | 0,58 | 4,98 | 100,58 |
| E-760/1 | 36,88 | 0,02 | 0,46 | 5,33 | 2,53 | 42,68 | 0,59 | 0,02 | 0,01 | 0,37 | 10,10 | 98,99 |
| E-761/1 | 38,18 | 0,03 | 0,28 | 3,84 | 3,62 | 45,98 | 0,74 | 0,03 | 0,01 | 0,22 | 7,46 | 100,39 |
| E-763/1 | 39,08 | 0,02 | 0,61 | 4,22 | 4,22 | 42,89 | 0,65 | 0,04 | 0,01 | 0,34 | 6,82 | 98,90 |
| E-763/2 | 35,52 | 0,01 | 0,10 | 5,39 | 3,03 | 44,44 | 0,59 | 0,03 | 0,02 | 0,43 | 9,08 | 98,64 |
| E-764/1 | 38,32 | 0,01 | 0,75 | 5,68 | 2,74 | 41,03 | 0,74 | 0,10 | 0,02 | 0,35 | 9,84 | 99,57 |
| E-764/2 | 36,44 | 0,03 | 0,58 | 5,08 | 3,48 | 43,61 | 0,44 | 0,02 | 0,02 | 0,32 | 9,26 | 99,28 |
| E-765/1 | 39,58 | 0,01 | 0,80 | 5,43 | 2,60 | 40,42 | 1,03 | 0,11 | 0,02 | 0,38 | 10,12 | 100,49 |
| E-765/2 | 37,40 | 0,01 | 0,20 | 5,45 | 3,90 | 44,02 | 0,59 | 0,13 | 0,02 | 0,37 | 7,66 | 99,75 |
| E-766/1 | 38,28 | 0,02 | 0,74 | 6,16 | 2,22 | 40,62 | 1,18 | 0,11 | 0,02 | 0,35 | 10,64 | 100,34 |
| E-766/2 | 35,70 | 0,01 | 0,60 | 6,18 | 3,24 | 42,06 | 0,88 | 0,44 | 0,05 | 0,39 | 10,64 | 100,19 |
| E-767/1 | 37,04 | 0,01 | 0,25 | 4,92 | 3,24 | 42,45 | 0,44 | 0,03 | 0,01 | 0,31 | 10,52 | 99,22 |
| E-767/2 | 37,40 | 0,01 | 1,00 | 5,70 | 3,20 | 43,29 | 0,56 | 0,07 | 0,01 | 0,35 | 9,20 | 100,78 |
| E-768/1 | 38,12 | 0,01 | 0,54 | 5,88 | 3,10 | 40,33 | 1,69 | 0,13 | 0,02 | 0,28 | 9,72 | 99,82 |
| E-768/2 | 36,34 | 0,02 | 0,54 | 6,26 | 3,52 | 42,70 | 0,56 | 0,05 | 0,02 | 0,83 | 9,96 | 100,80 |
| E-769/1 | 39,30 | 0,02 | 1,08 | 6,12 | 2,53 | 40,52 | 1,12 | 0,20 | 0,02 | 0,31 | 9,22 | 100,44 |
| E-769/2 | 37,52 | 0,01 | 1,08 | 5,59 | 2,60 | 43,30 | 0,56 | 0,07 | 0,01 | 0,22 | 9,62 | 100,48 |
| E-770/1 | 36,46 | 0,02 | 0,36 | 6,28 | 3,10 | 44,08 | 0,28 | 0,04 | 0,01 | 0,37 | 9,24 | 100,24 |
| E-771/1 | 37,82 | 0,02 | 0,52 | 5,32 | 3,24 | 43,49 | 0,56 | 0,04 | 0,01 | 0,37 | 8,90 | 100,29 |
| E-771/2 | 38,32 | 0,02 | 0,81 | 4,78 | 3,73 | 44,48 | 0,56 | 0,04 | 0,01 | 0,26 | 7,42 | 100,43 |
| E-773/1 | 39,32 | 0,04 | 0,80 | 4,48 | 4,36 | 43,68 | 1,12 | 0,09 | 0,01 | 0,44 | 6,52 | 100,86 |
| E-773/2 | 37,80 | 0,02 | 0,60 | 5,62 | 3,80 | 43,78 | 0,98 | 0,09 | 0,01 | 0,44 | 7,66 | 100,80 |
| E-774/1 | 37,90 | 0,03 | 0,80 | 5,80 | 3,17 | 42,30 | 0,56 | 0,12 | 0,01 | 0,46 | 9,56 | 100,72 |
| E-775/1 | 38,94 | 0,03 | 1,08 | 6,11 | 4,01 | 40,52 | 1,41 | 0,11 | 0,01 | 0,73 | 7,58 | 100,53 |
| E-775/2 | 39,02 | 0,03 | 1,44 | 5,27 | 4,01 | 42,50 | 0,85 | 0,10 | 0,02 | 0,32 | 7,22 | 100,78 |

| № обр. | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | FeO | MgO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | Cr ₂ O ₃ | П.п.п. | Сумма |
|------------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|-------|------|-------------------|------------------|--------------------------------|--------|--------|
| T-808-0-1 | 37,36 | 0,03 | 0,16 | 5,52 | 3,08 | 45,25 | 0,00 | 0,07 | 0,03 | 0,36 | 8,86 | 100,72 |
| T-808-0-3 | 37,48 | 0,04 | 0,30 | 5,72 | 3,79 | 45,56 | 0,00 | 0,04 | 0,03 | 0,56 | 7,02 | 100,54 |
| T-808-0-4 | 36,32 | 0,04 | 0,30 | 6,72 | 2,16 | 44,02 | 0,00 | 0,04 | 0,03 | 0,28 | 10,86 | 100,77 |
| T-808-10-1 | 37,42 | 0,04 | 0,18 | 6,66 | 1,98 | 46,16 | 0,00 | 0,04 | 0,03 | 0,28 | 7,92 | 100,71 |
| T-808-10-2 | 50,76 | 0,03 | 0,13 | 3,93 | 2,66 | 35,26 | 0,00 | 0,05 | 0,03 | 0,20 | 7,48 | 100,53 |
| T-808-10-5 | 35,78 | 0,03 | 0,26 | 3,26 | 2,83 | 44,22 | 0,00 | 0,15 | 0,02 | 0,20 | 12,12 | 98,87 |
| T-808-12-1 | 35,62 | 0,04 | 0,26 | 3,87 | 3,54 | 46,05 | 0,00 | 0,01 | 0,02 | 0,21 | 10,42 | 100,04 |
| T-808-12-4 | 33,60 | 0,03 | 0,36 | 4,02 | 2,76 | 44,83 | 0,28 | 0,04 | 0,02 | 0,96 | 11,82 | 98,72 |
| T-808-14-1 | 35,30 | 0,05 | 0,46 | 4,76 | 1,91 | 44,84 | 0,28 | 0,03 | 0,02 | 0,37 | 12,70 | 100,72 |
| T-808-14-3 | 32,78 | 0,03 | 0,52 | 3,97 | 2,48 | 46,46 | 0,00 | 0,03 | 0,02 | 0,63 | 11,94 | 98,86 |
| T-808-16-1 | 38,24 | 0,05 | 0,18 | 3,72 | 3,96 | 45,65 | 0,00 | 0,03 | 0,05 | 0,34 | 6,66 | 98,88 |
| T-808-16-4 | 37,68 | 0,05 | 0,26 | 3,17 | 4,46 | 46,87 | 0,00 | 0,03 | 0,02 | 0,51 | 6,18 | 99,23 |
| T-808-18-1 | 36,12 | 0,04 | 0,22 | 3,32 | 4,32 | 48,09 | 0,28 | 0,03 | 0,02 | 0,42 | 5,88 | 98,74 |
| T-808-18-3 | 36,96 | 0,07 | 0,28 | 4,12 | 3,61 | 45,85 | 0,00 | 0,03 | 0,02 | 0,61 | 7,20 | 98,75 |
| T-808-18-4 | 37,68 | 0,03 | 0,22 | 3,61 | 4,25 | 47,08 | 0,00 | 0,01 | 0,02 | 0,42 | 6,56 | 99,88 |
| T-808-2-1 | 36,88 | 0,03 | 0,48 | 3,80 | 3,61 | 45,04 | 0,00 | 0,03 | 0,02 | 0,46 | 9,00 | 99,35 |
| T-808-4-1 | 38,54 | 0,02 | 0,22 | 3,56 | 3,82 | 45,24 | 0,28 | 0,03 | 0,02 | 0,35 | 7,20 | 99,28 |
| T-808-6-1 | 36,46 | 0,03 | 0,34 | 3,41 | 4,25 | 46,87 | 0,00 | 0,01 | 0,02 | 0,61 | 7,98 | 99,98 |
| T-808-6-2 | 35,80 | 0,02 | 0,24 | 2,68 | 3,96 | 47,68 | 0,00 | 0,03 | 0,02 | 0,40 | 7,96 | 98,79 |
| T-808-6-4 | 36,34 | 0,03 | 0,22 | 4,28 | 3,82 | 47,48 | 0,56 | 0,01 | 0,02 | 0,44 | 7,64 | 100,84 |
| T-808-8-1 | 37,52 | 0,02 | 0,56 | 5,00 | 1,70 | 44,22 | 0,00 | 0,01 | 0,02 | 0,35 | 11,52 | 100,92 |
| T-808-8-3 | 35,22 | 0,02 | 0,30 | 5,76 | 1,84 | 45,04 | 0,00 | 0,03 | 0,02 | 0,35 | 12,26 | 100,84 |

Продолжение прилож. 3

| № обр. | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Cr ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | FeO | MgO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | MnO | П.л.п. | Сумма |
|----------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|-------|------|-------------------|------------------|------|--------|--------|
| Y-187/1 | 40,04 | 0,02 | 0,57 | 0,18 | 4,32 | 5,04 | 45,61 | 0,10 | 0,02 | 0,01 | 0,16 | 3,76 | 99,83 |
| Y-187/2 | 36,58 | 0,02 | 0,21 | 0,91 | 3,27 | 5,09 | 46,91 | 0,10 | 0,02 | 0,01 | 0,14 | 6,22 | 99,48 |
| Y-187/3 | 36,20 | 0,01 | 0,20 | 0,18 | 3,64 | 5,59 | 46,52 | 0,10 | 0,02 | 0,01 | 0,16 | 6,56 | 99,19 |
| Y-187/4 | 36,06 | 0,06 | 0,15 | 0,62 | 4,35 | 3,61 | 47,40 | 0,14 | 0,01 | 0,01 | 0,15 | 6,72 | 99,28 |
| Y-187/5 | 36,04 | 0,04 | 0,15 | 0,50 | 3,41 | 4,10 | 47,50 | 0,14 | 0,02 | 0,01 | 0,13 | 7,26 | 99,30 |
| Y-187/7 | 36,16 | 0,01 | 0,17 | 0,78 | 3,57 | 4,10 | 47,10 | 0,14 | 0,02 | 0,01 | 0,14 | 7,02 | 99,22 |
| Y-187/9 | 36,26 | 0,01 | 0,13 | 0,71 | 3,89 | 4,03 | 47,10 | 0,10 | 0,02 | 0,01 | 0,14 | 6,96 | 99,36 |
| Y-187/10 | 36,90 | 0,04 | 0,14 | 0,54 | 4,05 | 4,39 | 45,93 | 0,10 | 0,01 | 0,01 | 0,15 | 6,92 | 99,18 |
| Y-187/12 | 36,94 | 0,04 | 0,12 | 0,52 | 2,69 | 4,60 | 46,92 | 0,10 | 0,02 | 0,01 | 0,13 | 7,12 | 99,21 |
| Y-187/13 | 37,92 | 0,01 | 0,14 | 0,52 | 2,94 | 4,67 | 47,90 | 0,10 | 0,01 | 0,01 | 0,14 | 4,78 | 99,14 |
| Y-187/14 | 36,82 | 0,02 | 0,13 | 0,44 | 3,62 | 3,62 | 47,10 | 0,10 | 0,01 | 0,01 | 0,17 | 7,06 | 99,10 |
| Y-187/15 | 35,32 | 0,01 | 0,14 | 0,46 | 4,66 | 3,33 | 45,73 | 0,10 | 0,02 | 0,01 | 0,15 | 9,50 | 99,43 |
| Y-187/17 | 36,10 | 0,01 | 0,13 | 0,58 | 2,93 | 4,03 | 47,10 | 0,14 | 0,02 | 0,01 | 0,14 | 8,06 | 99,25 |
| Y-187/18 | 36,80 | 0,03 | 0,16 | 0,66 | 4,61 | 3,89 | 47,10 | 0,10 | 0,01 | 0,01 | 0,13 | 6,78 | 100,28 |
| Y-187/19 | 37,80 | 0,01 | 0,13 | 0,42 | 3,35 | 5,02 | 47,70 | 0,10 | 0,02 | 0,01 | 0,15 | 4,58 | 99,29 |
| Y-187/20 | 36,70 | 0,02 | 0,16 | 0,64 | 4,28 | 4,08 | 46,91 | 0,10 | 0,01 | 0,01 | 0,14 | 6,52 | 99,57 |
| Y-188/2 | 37,48 | 0,03 | 0,12 | 0,93 | 3,94 | 3,90 | 47,50 | 0,10 | 0,02 | 0,01 | 0,14 | 5,64 | 99,81 |
| Y-189/2 | 35,02 | 0,04 | 0,16 | 0,46 | 4,90 | 2,96 | 46,91 | 0,10 | 0,02 | 0,01 | 0,14 | 9,08 | 99,80 |
| Y-190/2 | 36,60 | 0,03 | 0,22 | 0,58 | 3,72 | 3,98 | 47,50 | 0,14 | 0,01 | 0,01 | 0,14 | 6,44 | 99,37 |
| Y-195/1 | 35,60 | 0,03 | 0,09 | 0,19 | 4,27 | 3,18 | 46,90 | 0,14 | 0,03 | 0,01 | 0,13 | 9,26 | 99,83 |
| Y-195/2 | 36,96 | 0,04 | 0,20 | 0,53 | 4,52 | 3,61 | 46,90 | 0,14 | 0,02 | 0,01 | 0,15 | 6,72 | 99,80 |
| Y-195/3 | 35,56 | 0,03 | 0,26 | 0,44 | 4,68 | 3,96 | 46,71 | 0,14 | 0,02 | 0,01 | 0,17 | 7,40 | 99,38 |
| Y-195/4 | 36,98 | 0,04 | 0,46 | 0,40 | 6,38 | 2,83 | 43,55 | 0,10 | 0,11 | 0,02 | 0,14 | 8,86 | 99,87 |
| Y-195/5 | 40,34 | 0,05 | 0,29 | 0,37 | 3,73 | 5,87 | 46,12 | 0,10 | 0,06 | 0,02 | 0,14 | 2,94 | 100,03 |
| Y-195/7 | 35,98 | 0,05 | 0,34 | 0,88 | 5,03 | 3,40 | 46,52 | 0,28 | 0,04 | 0,01 | 0,13 | 7,62 | 100,28 |
| Y-195/8 | 35,54 | 0,04 | 0,27 | 0,32 | 5,43 | 4,63 | 45,72 | 0,28 | 0,06 | 0,02 | 0,16 | 6,42 | 98,89 |
| Y-195/9 | 38,40 | 0,06 | 0,66 | 0,34 | 5,75 | 3,40 | 41,19 | 2,53 | 0,16 | 0,02 | 0,14 | 7,70 | 100,35 |
| Y-195/10 | 36,16 | 0,06 | 0,29 | 0,30 | 5,22 | 4,52 | 45,72 | 0,10 | 0,04 | 0,02 | 0,14 | 6,86 | 99,43 |

| № обр. | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Cr ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | FeO | MgO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | MnO | П.п.п. | Сумма |
|---------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|-------|------|-------------------|------------------|------|--------|--------|
| Y-501/1 | 38,16 | 0,07 | 0,29 | 0,31 | 4,82 | 4,24 | 45,52 | 0,28 | 0,01 | 0,02 | 0,13 | 6,86 | 100,71 |
| Y-501/2 | 38,84 | 0,05 | 0,41 | 0,34 | 5,28 | 3,82 | 44,35 | 0,28 | 0,04 | 0,03 | 0,23 | 6,78 | 100,45 |
| Y-520/1 | 37,18 | 0,05 | 0,17 | 0,39 | 4,96 | 4,38 | 46,71 | 0,10 | 0,03 | 0,02 | 0,15 | 5,96 | 100,10 |
| Y-521/1 | 35,94 | 0,06 | 0,30 | 0,66 | 5,28 | 3,82 | 45,13 | 0,28 | 0,03 | 0,02 | 0,15 | 7,36 | 99,03 |
| Y-523/1 | 34,62 | 0,04 | 0,38 | 1,18 | 5,92 | 3,25 | 46,32 | 0,10 | 0,04 | 0,02 | 0,13 | 8,00 | 100,00 |
| Y-524/1 | 35,52 | 0,04 | 0,28 | 0,80 | 6,39 | 3,10 | 46,12 | 0,10 | 0,04 | 0,02 | 0,15 | 8,42 | 100,98 |
| Y-531/1 | 38,06 | 0,04 | 0,24 | 0,22 | 3,55 | 4,95 | 48,68 | 0,10 | 0,08 | 0,03 | 0,17 | 3,82 | 99,94 |
| Y-538/1 | 36,76 | 0,03 | 0,09 | 0,27 | 5,36 | 3,32 | 46,31 | 0,28 | 0,04 | 0,01 | 0,12 | 8,14 | 100,73 |
| Y-538/2 | 37,62 | 0,03 | 0,21 | 0,59 | 5,83 | 2,68 | 44,35 | 0,10 | 0,04 | 0,02 | 0,13 | 9,14 | 100,74 |
| Y-540/4 | 38,22 | 0,03 | 0,36 | 0,38 | 5,37 | 4,03 | 45,33 | 0,28 | 0,04 | 0,02 | 0,13 | 5,82 | 100,01 |
| Y-540/5 | 37,64 | 0,01 | 0,23 | 0,36 | 5,92 | 3,25 | 43,55 | 0,28 | 0,06 | 0,03 | 0,14 | 8,02 | 99,49 |
| Y-540/6 | 44,34 | 0,07 | 1,60 | 0,36 | 3,22 | 4,88 | 43,35 | 0,10 | 0,04 | 0,03 | 0,09 | 2,80 | 100,88 |
| Y-553/1 | 37,94 | 0,04 | 0,30 | 0,36 | 5,44 | 4,32 | 44,54 | 0,28 | 0,04 | 0,01 | 0,13 | 5,40 | 98,80 |
| Y-553/2 | 40,70 | 0,03 | 0,33 | 0,34 | 4,66 | 4,38 | 42,77 | 0,10 | 0,03 | 0,02 | 0,13 | 5,44 | 98,93 |
| Y-553/3 | 38,08 | 0,02 | 0,30 | 0,32 | 5,24 | 4,17 | 44,54 | 0,10 | 0,03 | 0,01 | 0,13 | 6,40 | 99,34 |
| Y-561/1 | 36,80 | 0,03 | 0,22 | 0,46 | 4,57 | 4,10 | 45,72 | 0,10 | 0,03 | 0,01 | 0,14 | 7,02 | 99,20 |
| Y-565/3 | 38,88 | 0,03 | 0,23 | 0,39 | 4,68 | 4,67 | 44,54 | 0,10 | 0,07 | 0,02 | 0,15 | 5,52 | 99,28 |
| Y-570/3 | 38,96 | 0,03 | 0,13 | 0,36 | 3,50 | 4,53 | 45,92 | 0,14 | 0,05 | 0,01 | 0,13 | 5,50 | 99,26 |
| Y-570/4 | 38,90 | 0,03 | 0,22 | 0,29 | 4,76 | 3,75 | 45,33 | 0,14 | 0,05 | 0,01 | 0,13 | 5,78 | 99,39 |
| Y-574/2 | 39,86 | 0,03 | 0,53 | 0,31 | 3,72 | 4,32 | 45,92 | 0,14 | 0,05 | 0,01 | 0,12 | 4,78 | 99,79 |
| Y-579/1 | 42,64 | 0,03 | 0,40 | 0,40 | 3,89 | 4,52 | 45,13 | 0,14 | 0,01 | 0,01 | 0,13 | 2,00 | 99,30 |
| Y-579/2 | 40,26 | 0,03 | 0,10 | 0,28 | 2,86 | 4,74 | 48,10 | 0,10 | 0,01 | 0,01 | 0,14 | 2,74 | 99,37 |
| Y-587/1 | 40,50 | 0,03 | 0,35 | 0,22 | 5,22 | 3,33 | 44,94 | 0,10 | 0,05 | 0,01 | 0,12 | 4,62 | 99,49 |
| Y-599/1 | 37,40 | 0,08 | 0,05 | 0,30 | 3,88 | 3,82 | 47,50 | 0,10 | 0,02 | 0,01 | 0,17 | 6,00 | 99,33 |
| Y-604/1 | 40,14 | 0,03 | 0,20 | 0,21 | 4,05 | 4,39 | 44,35 | 0,14 | 0,03 | 0,01 | 0,13 | 5,48 | 99,16 |
| Y-604/2 | 37,16 | 0,03 | 0,11 | 0,27 | 4,83 | 4,74 | 46,32 | 0,14 | 0,02 | 0,01 | 0,16 | 6,12 | 99,91 |
| Y-610/2 | 38,78 | 0,03 | 0,08 | 0,36 | 3,09 | 4,53 | 47,50 | 0,14 | 0,02 | 0,01 | 0,13 | 4,32 | 98,99 |
| Y-635/1 | 39,00 | 0,03 | 0,35 | 0,38 | 4,52 | 3,96 | 44,14 | 0,14 | 0,02 | 0,01 | 0,13 | 6,50 | 99,18 |

Продолжение прилож. 3

| № обр. | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Cr ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | FeO | MgO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | MnO | П.л.п. | Сумма |
|---------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|-------|------|-------------------|------------------|------|--------|--------|
| Y-635/2 | 41,22 | 0,02 | 0,14 | 0,25 | 3,95 | 3,11 | 42,57 | 0,14 | 0,03 | 0,01 | 0,12 | 7,88 | 99,44 |
| Y-652/3 | 41,32 | 0,09 | 0,65 | 0,36 | 4,76 | 3,75 | 42,19 | 0,14 | 0,02 | 0,01 | 0,13 | 5,20 | 98,62 |
| Y-652/4 | 42,32 | 0,05 | 0,69 | 0,26 | 3,32 | 3,89 | 42,19 | 0,14 | 0,02 | 0,01 | 0,10 | 4,96 | 97,95 |
| Y-652/6 | 40,52 | 0,03 | 0,43 | 0,32 | 3,33 | 3,33 | 43,55 | 0,14 | 0,06 | 0,01 | 0,11 | 7,10 | 98,93 |
| Y-652/7 | 40,84 | 0,09 | 0,63 | 0,30 | 3,40 | 3,40 | 42,57 | 0,14 | 0,02 | 0,01 | 0,12 | 6,70 | 98,22 |
| Y-670/1 | 39,80 | 0,06 | 0,40 | 0,26 | 3,87 | 3,40 | 43,16 | 0,10 | 0,05 | 0,01 | 0,16 | 8,08 | 99,35 |
| Y-670/2 | 36,60 | 0,03 | 0,06 | 0,36 | 3,88 | 3,25 | 44,85 | 0,10 | 0,03 | 0,01 | 0,11 | 8,68 | 97,96 |
| Y-673/1 | 40,30 | 0,03 | 0,59 | 0,25 | 4,12 | 3,82 | 42,77 | 0,10 | 0,04 | 0,01 | 0,13 | 7,08 | 99,24 |
| Y-705/1 | 35,80 | 0,03 | 0,06 | 0,22 | 4,89 | 2,19 | 43,66 | 0,10 | 0,02 | 0,01 | 0,12 | 11,60 | 98,70 |
| Y-705/2 | 38,88 | 0,02 | 0,36 | 0,30 | 5,47 | 3,00 | 43,00 | 0,10 | 0,04 | 0,01 | 0,13 | 8,30 | 99,61 |
| Y-707/1 | 37,14 | 0,03 | 0,10 | 0,52 | 3,63 | 3,11 | 47,11 | 0,10 | 0,02 | 0,01 | 0,13 | 7,06 | 98,96 |
| Y-707/2 | 40,14 | 0,03 | 0,43 | 0,36 | 3,74 | 4,67 | 44,74 | 0,10 | 0,02 | 0,01 | 0,14 | 4,20 | 98,58 |
| Y-729/3 | 42,04 | 0,03 | 0,90 | 0,37 | 3,22 | 2,83 | 43,95 | 0,14 | 0,15 | 0,01 | 0,14 | 4,18 | 97,96 |
| Y-729/4 | 37,10 | 0,03 | 0,08 | 0,23 | 5,44 | 1,77 | 43,76 | 0,10 | 0,02 | 0,01 | 0,12 | 10,22 | 98,88 |
| Y-770/1 | 38,54 | 0,01 | 0,31 | 0,24 | 4,71 | 3,40 | 42,57 | 0,56 | 0,08 | 0,06 | 0,13 | 9,16 | 99,77 |
| Y-773/1 | 39,54 | 0,01 | 0,25 | 0,26 | 4,00 | 4,32 | 44,34 | 0,10 | 0,10 | 0,04 | 0,14 | 6,44 | 99,54 |
| Y-773/2 | 39,60 | 0,01 | 0,35 | 0,38 | 3,78 | 4,24 | 43,75 | 0,10 | 0,08 | 0,02 | 0,13 | 6,70 | 99,14 |
| Y-775/1 | 40,12 | 0,01 | 0,84 | 0,34 | 3,44 | 4,25 | 43,36 | 0,28 | 0,07 | 0,02 | 0,15 | 6,34 | 99,22 |
| Y-776/1 | 40,02 | 0,01 | 0,46 | 0,24 | 5,53 | 4,03 | 43,45 | 0,28 | 0,05 | 0,02 | 0,14 | 6,66 | 100,89 |
| Y-777/1 | 40,14 | 0,01 | 0,49 | 0,24 | 3,86 | 4,74 | 44,34 | 0,28 | 0,08 | 0,02 | 0,17 | 4,94 | 99,31 |
| Y-780/1 | 38,06 | 0,01 | 0,40 | 0,32 | 4,10 | 4,88 | 44,94 | 0,10 | 0,06 | 0,02 | 0,14 | 6,26 | 99,29 |
| Y-780/2 | 41,08 | 0,01 | 0,70 | 0,32 | 3,84 | 3,89 | 44,15 | 0,10 | 0,06 | 0,02 | 0,13 | 5,66 | 99,96 |
| Y-783/1 | 36,54 | 0,01 | 0,40 | 0,32 | 4,82 | 4,24 | 44,74 | 0,28 | 0,05 | 0,02 | 0,15 | 8,34 | 99,91 |
| Y-783/2 | 40,42 | 0,01 | 0,66 | 0,22 | 4,40 | 3,96 | 43,55 | 0,28 | 0,06 | 0,02 | 0,13 | 6,76 | 100,47 |
| Y-790/4 | 39,68 | 0,01 | 0,38 | 0,34 | 4,64 | 3,46 | 43,95 | 0,40 | 0,13 | 0,02 | 0,13 | 7,64 | 100,78 |
| Y-791/1 | 36,88 | 0,01 | 0,14 | 0,32 | 4,48 | 3,60 | 46,12 | 0,40 | 0,04 | 0,02 | 0,13 | 8,82 | 100,96 |
| Y-791/2 | 40,20 | 0,01 | 0,36 | 0,21 | 4,68 | 4,67 | 44,54 | 0,40 | 0,04 | 0,02 | 0,13 | 5,94 | 101,20 |

| № обр. | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | FeO | MgO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | Cr ₂ O ₃ | П.п.п. | CO ₂ | Сумма |
|-----------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|-------|------|-------------------|------------------|--------------------------------|--------|-----------------|--------|
| P-4027-1 | 35,34 | 0,01 | 0,00 | 3,67 | 4,34 | 47,90 | 0,56 | 0,10 | 0,07 | 0,42 | 6,48 | 0,88 | 98,89 |
| P-4027-2 | 36,80 | 0,01 | 0,05 | 3,49 | 4,72 | 48,91 | 0,56 | 0,10 | 0,07 | 0,26 | 5,12 | 0,00 | 100,08 |
| P-4027-3 | 37,44 | 0,01 | 0,28 | 2,63 | 5,22 | 49,31 | 0,00 | 0,10 | 0,07 | 0,30 | 3,68 | 0,44 | 99,04 |
| P-4027-4 | 38,02 | 0,01 | 0,20 | 3,56 | 4,65 | 46,50 | 0,56 | 0,04 | 0,07 | 0,34 | 6,56 | 1,21 | 100,51 |
| P-4027-5 | 37,54 | 0,01 | 0,25 | 3,08 | 4,20 | 46,70 | 0,56 | 0,07 | 0,07 | 0,32 | 7,96 | 0,99 | 100,76 |
| P-4027-6 | 37,74 | 0,01 | 0,22 | 4,09 | 3,49 | 44,28 | 0,56 | 0,13 | 0,07 | 0,26 | 9,64 | 1,21 | 100,49 |
| P-4027-7 | 36,00 | 0,01 | 0,15 | 2,66 | 4,74 | 48,31 | 0,56 | 0,09 | 0,07 | 0,40 | 5,84 | 1,21 | 98,83 |
| P-4027-8 | 36,82 | 0,01 | 0,14 | 2,68 | 4,83 | 49,52 | 0,00 | 0,07 | 0,09 | 0,26 | 5,44 | 0,77 | 99,86 |
| P-4027-9 | 37,10 | 0,02 | 0,34 | 3,21 | 4,37 | 46,90 | 0,28 | 0,11 | 0,09 | 0,26 | 6,76 | 0,99 | 99,44 |
| P-4027-10 | 35,04 | 0,02 | 0,23 | 6,03 | 1,70 | 42,08 | 0,28 | 0,11 | 0,09 | 0,24 | 14,12 | 1,65 | 99,94 |
| P-4027-11 | 34,20 | 0,02 | 0,16 | 5,77 | 1,97 | 42,88 | 0,28 | 0,06 | 0,09 | 0,23 | 15,12 | 1,21 | 100,78 |
| P-4027-12 | 36,00 | 0,02 | 0,23 | 3,51 | 4,30 | 46,09 | 0,00 | 0,06 | 0,09 | 0,30 | 8,44 | 1,21 | 99,04 |
| P-4027-13 | 37,54 | 0,02 | 0,20 | 2,92 | 5,01 | 48,11 | 0,28 | 0,05 | 0,07 | 0,24 | 6,36 | 0,99 | 100,80 |
| P-4027-14 | 37,58 | 0,02 | 0,24 | 3,52 | 5,01 | 47,70 | 0,28 | 0,06 | 0,09 | 0,33 | 5,84 | 0,88 | 100,67 |
| P-4027-15 | 36,98 | 0,02 | 0,28 | 3,82 | 4,23 | 48,11 | 0,00 | 0,05 | 0,09 | 0,35 | 6,40 | 0,00 | 100,33 |
| P-4027-16 | 36,78 | 0,02 | 0,20 | 3,34 | 4,20 | 48,22 | 0,28 | 0,06 | 0,09 | 0,30 | 7,32 | 0,00 | 100,81 |
| P-4027-17 | 36,96 | 0,02 | 0,30 | 3,26 | 4,23 | 46,30 | 0,28 | 0,06 | 0,09 | 0,30 | 7,88 | 0,66 | 99,68 |
| P-4027-18 | 37,26 | 0,01 | 0,22 | 3,59 | 3,98 | 47,50 | 0,00 | 0,06 | 0,09 | 0,30 | 7,58 | 0,00 | 100,59 |
| P-4027-19 | 37,18 | 0,01 | 0,22 | 3,63 | 4,86 | 47,71 | 0,00 | 0,07 | 0,09 | 0,28 | 6,08 | 1,21 | 100,13 |
| P-4027-20 | 37,38 | 0,01 | 0,22 | 2,73 | 5,15 | 47,31 | 0,28 | 0,08 | 0,09 | 0,28 | 7,16 | 0,66 | 100,69 |
| P-4027-21 | 38,12 | 0,01 | 0,18 | 2,70 | 5,46 | 47,31 | 0,56 | 0,07 | 0,09 | 0,29 | 5,00 | 0,44 | 99,79 |
| P-4027-22 | 34,84 | 0,03 | 0,40 | 2,81 | 1,27 | 42,98 | 0,00 | 0,07 | 0,17 | 0,30 | 16,16 | 1,21 | 99,03 |
| P-4027-23 | 35,52 | 0,02 | 0,26 | 4,01 | 3,52 | 45,20 | 0,00 | 0,07 | 0,11 | 0,26 | 11,18 | 1,10 | 100,15 |
| P-4027-25 | 33,54 | 0,03 | 0,71 | 4,00 | 3,77 | 45,80 | 0,00 | 0,11 | 0,11 | 0,77 | 10,84 | 0,99 | 99,68 |
| P-4028-1 | 38,04 | 0,05 | 0,19 | 3,32 | 4,04 | 47,69 | 0,14 | 0,02 | 0,01 | 0,32 | 6,50 | 0,40 | 100,32 |
| P-4028-2 | 38,08 | 0,04 | 0,14 | 4,04 | 4,32 | 46,57 | 0,10 | 0,02 | 0,01 | 0,30 | 6,76 | 0,66 | 100,28 |
| P-4028-3 | 36,28 | 0,04 | 0,06 | 2,88 | 5,47 | 49,01 | 0,28 | 0,02 | 0,01 | 0,16 | 4,44 | 0,40 | 98,65 |
| P-4028-4 | 38,28 | 0,05 | 0,16 | 2,07 | 5,31 | 48,30 | 0,43 | 0,02 | 0,01 | 0,22 | 4,10 | 1,10 | 98,95 |

Продолжение прилож. 3

| № обр. | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | FeO | MgO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | CaF ₂ O ₃ | П.п.п. | CO ₂ | Сумма |
|-----------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|-------|------|-------------------|------------------|---------------------------------|--------|-----------------|--------|
| P-4028-5 | 37,84 | 0,05 | 0,20 | 2,08 | 5,59 | 47,28 | 0,14 | 0,02 | 0,01 | 0,43 | 5,12 | 0,88 | 98,76 |
| P-4028-6 | 37,80 | 0,05 | 0,20 | 2,15 | 5,38 | 49,12 | 0,14 | 0,02 | 0,01 | 0,34 | 4,04 | 1,10 | 99,25 |
| P-4028-7 | 38,38 | 0,05 | 0,17 | 2,45 | 4,82 | 48,81 | 0,28 | 0,01 | 0,01 | 0,16 | 5,58 | 0,88 | 100,72 |
| P-4028-8 | 37,36 | 0,03 | 0,16 | 2,93 | 4,82 | 47,38 | 0,28 | 0,02 | 0,01 | 0,30 | 6,52 | 1,10 | 99,81 |
| P-4028-9 | 39,88 | 0,05 | 0,48 | 2,69 | 4,60 | 44,12 | 0,14 | 0,12 | 0,01 | 0,26 | 7,06 | 0,66 | 99,38 |
| P-4028-10 | 38,36 | 0,04 | 0,17 | 2,39 | 5,52 | 46,67 | 0,43 | 0,02 | 0,01 | 0,16 | 5,18 | 0,88 | 98,95 |
| P-4028-11 | 38,30 | 0,04 | 0,20 | 2,63 | 5,30 | 49,52 | 0,14 | 0,06 | 0,02 | 0,38 | 4,40 | 0,44 | 100,99 |
| P-4028-12 | 37,30 | 0,04 | 0,14 | 3,08 | 4,25 | 46,87 | 0,43 | 0,02 | 0,01 | 0,32 | 6,30 | 0,40 | 98,76 |
| P-4028-13 | 36,78 | 0,05 | 0,17 | 3,64 | 3,75 | 46,26 | 0,43 | 0,02 | 0,01 | 0,26 | 8,36 | 1,10 | 99,73 |
| P-4028-14 | 36,14 | 0,03 | 0,25 | 4,17 | 3,05 | 45,86 | 0,14 | 0,02 | 0,01 | 0,34 | 9,58 | 1,10 | 99,59 |
| P-4028-15 | 36,96 | 0,04 | 0,17 | 2,21 | 4,39 | 46,87 | 0,14 | 0,02 | 0,01 | 0,24 | 7,68 | 1,10 | 98,73 |
| P-4028-16 | 36,24 | 0,03 | 0,13 | 2,13 | 4,60 | 48,91 | 0,14 | 0,02 | 0,01 | 0,22 | 6,46 | 0,44 | 98,89 |
| P-4028-18 | 37,66 | 0,05 | 0,17 | 1,43 | 5,38 | 49,42 | 0,28 | 0,03 | 0,01 | 0,30 | 5,34 | 0,44 | 100,07 |
| P-4028-19 | 37,08 | 0,05 | 0,20 | 1,89 | 4,82 | 48,10 | 0,43 | 0,03 | 0,01 | 0,20 | 7,22 | 0,40 | 100,03 |
| P-4028-20 | 36,80 | 0,05 | 0,20 | 2,05 | 4,53 | 48,09 | 0,43 | 0,02 | 0,01 | 0,30 | 6,74 | 0,44 | 99,22 |
| P-4028-21 | 37,82 | 0,03 | 0,17 | 2,68 | 3,82 | 45,54 | 0,10 | 0,02 | 0,01 | 0,10 | 8,88 | 0,44 | 99,07 |
| P-4028-22 | 36,86 | 0,06 | 0,22 | 2,24 | 4,39 | 47,79 | 0,28 | 0,02 | 0,01 | 0,13 | 7,02 | 0,44 | 99,02 |
| P-4028-23 | 36,82 | 0,03 | 0,22 | 2,51 | 3,97 | 48,71 | 0,14 | 0,02 | 0,01 | 0,19 | 7,10 | 0,44 | 99,72 |
| P-4028-24 | 37,04 | 0,04 | 0,38 | 2,36 | 4,04 | 46,67 | 0,43 | 0,03 | 0,01 | 0,46 | 7,78 | 0,40 | 99,24 |
| P-4028-30 | 36,56 | 0,09 | 0,30 | 2,76 | 4,04 | 47,89 | 0,14 | 0,05 | 0,02 | 0,49 | 6,68 | 0,88 | 99,02 |
| P-4028-31 | 35,32 | 0,06 | 0,30 | 3,06 | 3,12 | 45,84 | 0,43 | 0,06 | 0,02 | 0,20 | 10,88 | 0,44 | 99,29 |
| P-4028-32 | 35,32 | 0,05 | 0,83 | 3,38 | 3,19 | 46,87 | 0,10 | 0,05 | 0,02 | 0,22 | 9,44 | 0,40 | 99,37 |
| P-4045-2 | 37,62 | 0,00 | 0,24 | 3,57 | 5,00 | 45,87 | 0,56 | 0,07 | 0,15 | 0,27 | 5,58 | 0,00 | 99,08 |
| P-4045-3 | 37,42 | 0,00 | 0,24 | 2,80 | 5,15 | 46,08 | 0,56 | 0,07 | 0,15 | 0,34 | 6,08 | 0,00 | 99,04 |
| P-4045-4 | 37,66 | 0,00 | 0,24 | 2,47 | 4,80 | 47,20 | 0,28 | 0,07 | 0,15 | 0,30 | 5,70 | 0,55 | 99,01 |
| P-4045-5 | 37,72 | 0,00 | 0,24 | 2,70 | 4,52 | 46,90 | 0,56 | 0,08 | 0,10 | 0,26 | 5,94 | 0,00 | 99,16 |
| P-4045-15 | 38,32 | 0,00 | 0,58 | 2,62 | 4,02 | 45,36 | 1,43 | 0,08 | 0,10 | 0,65 | 5,74 | 0,00 | 99,03 |
| P-4045-19 | 33,46 | 0,00 | 0,52 | 4,74 | 2,47 | 44,85 | 1,43 | 0,07 | 0,10 | 1,52 | 10,84 | 0,55 | 100,14 |

| № обр. | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | FeO | MgO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | Cr ₂ O ₃ | П.п.п. | CO ₂ | Сумма |
|-----------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|-------|------|-------------------|------------------|--------------------------------|--------|-----------------|--------|
| P-4045-20 | 37,50 | 0,00 | 0,22 | 2,02 | 4,23 | 47,30 | 1,43 | 0,07 | 0,10 | 0,30 | 6,24 | 0,00 | 99,54 |
| P-4045-24 | 37,40 | 0,00 | 0,22 | 2,08 | 4,65 | 48,33 | 0,85 | 0,16 | 0,05 | 0,12 | 6,04 | 0,00 | 100,04 |
| P-4045-25 | 37,16 | 0,00 | 0,22 | 2,88 | 4,58 | 48,94 | 0,00 | 0,19 | 0,05 | 0,20 | 6,50 | 0,55 | 100,85 |
| P-4045-26 | 37,10 | 0,00 | 0,24 | 3,75 | 4,30 | 45,46 | 0,85 | 0,19 | 0,08 | 0,27 | 8,22 | 0,00 | 100,60 |
| P-4045-27 | 38,14 | 0,00 | 0,22 | 3,12 | 4,16 | 46,70 | 1,14 | 0,16 | 0,11 | 0,19 | 6,58 | 0,00 | 100,68 |
| P-4201-1 | 44,56 | 0,02 | 1,28 | 4,96 | 1,62 | 35,63 | 2,66 | 0,21 | 0,12 | 0,28 | 9,48 | 0,00 | 100,82 |
| P-4201-10 | 37,14 | 0,02 | 0,46 | 5,95 | 3,03 | 43,28 | 0,14 | 0,03 | 0,02 | 0,22 | 10,44 | 1,54 | 100,73 |
| P-4201-11 | 40,70 | 0,02 | 1,46 | 3,28 | 1,69 | 41,87 | 0,14 | 0,02 | 0,02 | 0,25 | 11,16 | 0,00 | 100,61 |
| P-4201-12 | 38,38 | 0,02 | 0,96 | 5,69 | 2,05 | 40,66 | 0,98 | 0,10 | 0,05 | 0,22 | 10,90 | 0,00 | 100,01 |
| P-4201-13 | 39,74 | 0,07 | 0,79 | 6,24 | 1,52 | 39,75 | 0,14 | 0,03 | 0,04 | 0,22 | 12,28 | 0,00 | 100,82 |
| P-4201-14 | 38,42 | 0,05 | 1,28 | 4,01 | 1,31 | 40,40 | 0,70 | 0,03 | 0,02 | 0,22 | 14,42 | 0,68 | 100,86 |
| P-4201-15 | 39,20 | 0,05 | 0,48 | 6,12 | 1,52 | 40,16 | 0,14 | 0,05 | 0,04 | 0,22 | 12,88 | 0,00 | 100,86 |
| P-4201-16 | 38,96 | 0,02 | 0,73 | 5,83 | 1,41 | 41,07 | 0,00 | 0,03 | 0,03 | 0,20 | 12,64 | 0,66 | 100,92 |
| P-4201-17 | 38,24 | 0,09 | 0,69 | 5,77 | 1,98 | 42,68 | 0,70 | 0,02 | 0,02 | 0,23 | 10,24 | 0,00 | 100,66 |
| P-4201-18 | 38,78 | 0,07 | 0,61 | 5,37 | 2,19 | 43,70 | 0,14 | 0,06 | 0,02 | 0,24 | 9,60 | 0,44 | 100,78 |
| P-4201-19 | 37,18 | 0,02 | 0,47 | 4,67 | 3,10 | 43,88 | 0,14 | 0,07 | 0,03 | 0,30 | 9,32 | 0,00 | 99,18 |
| P-4201-2 | 42,48 | 0,03 | 0,50 | 8,45 | 2,26 | 36,23 | 0,42 | 0,12 | 0,07 | 0,25 | 9,36 | 0,88 | 100,17 |
| P-4201-3 | 39,30 | 0,02 | 1,14 | 4,63 | 1,06 | 40,46 | 0,14 | 0,03 | 0,05 | 0,21 | 13,80 | 0,00 | 100,84 |
| P-4201-7 | 36,30 | 0,02 | 1,80 | 3,74 | 0,56 | 42,47 | 0,14 | 0,03 | 0,06 | 0,34 | 14,50 | 0,44 | 99,96 |
| P-4201-8 | 37,10 | 0,03 | 1,14 | 5,70 | 2,26 | 43,28 | 0,14 | 0,02 | 0,06 | 0,33 | 10,84 | 0,00 | 100,90 |
| P-4201-9 | 36,28 | 0,02 | 0,55 | 4,81 | 1,91 | 44,88 | 0,00 | 0,02 | 0,02 | 0,19 | 12,12 | 0,00 | 100,80 |
| P-4203-1 | 37,66 | 0,02 | 0,11 | 4,35 | 3,10 | 45,49 | 0,14 | 0,02 | 0,02 | 0,18 | 8,86 | 0,00 | 99,95 |
| P-4203-10 | 36,50 | 0,03 | 0,25 | 6,17 | 2,12 | 43,88 | 0,14 | 0,03 | 0,02 | 0,27 | 11,38 | 0,44 | 100,79 |
| P-4203-11 | 36,74 | 0,03 | 0,56 | 4,83 | 2,32 | 44,07 | 0,28 | 0,06 | 0,03 | 0,25 | 11,44 | 0,66 | 100,61 |
| P-4203-12 | 37,50 | 0,05 | 0,58 | 4,66 | 2,51 | 42,87 | 0,28 | 0,03 | 0,03 | 0,28 | 11,30 | 0,66 | 100,09 |
| P-4203-13 | 38,66 | 0,05 | 0,76 | 5,30 | 2,54 | 42,00 | 0,28 | 0,03 | 0,05 | 0,31 | 10,86 | 0,44 | 100,84 |
| P-4203-14 | 37,18 | 0,02 | 0,56 | 5,88 | 2,89 | 42,88 | 0,28 | 0,05 | 0,03 | 0,31 | 10,16 | 2,86 | 100,24 |
| P-4203-15 | 38,06 | 0,03 | 0,42 | 4,84 | 3,12 | 43,88 | 0,56 | 0,03 | 0,03 | 0,32 | 9,18 | 0,00 | 100,47 |

Продолжение прилож. 3

| № обр. | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | FeO | MgO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | Cr ₂ O ₃ | П.п.п. | CO ₂ | Сумма |
|-----------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|-------|------|-------------------|------------------|--------------------------------|--------|-----------------|--------|
| P-4203-16 | 37,78 | 0,04 | 0,66 | 5,00 | 3,17 | 44,08 | 0,28 | 0,06 | 0,05 | 0,34 | 9,12 | 0,44 | 100,58 |
| P-4203-17 | 38,02 | 0,02 | 0,44 | 5,08 | 3,00 | 43,88 | 0,28 | 0,06 | 0,05 | 0,34 | 9,40 | 0,66 | 100,57 |
| P-4203-18 | 35,56 | 0,01 | 0,18 | 6,73 | 3,28 | 43,88 | 0,84 | 0,05 | 0,05 | 0,45 | 9,50 | 1,32 | 100,53 |
| P-4203-19 | 38,06 | 0,04 | 0,48 | 5,08 | 3,10 | 42,67 | 0,84 | 0,06 | 0,05 | 0,32 | 9,80 | 0,00 | 100,50 |
| P-4203-2 | 39,24 | 0,03 | 0,43 | 5,78 | 2,47 | 43,28 | 0,14 | 0,03 | 0,02 | 0,28 | 8,96 | 0,00 | 100,66 |
| P-4203-20 | 37,58 | 0,04 | 0,88 | 5,92 | 1,98 | 41,06 | 0,56 | 0,05 | 0,07 | 0,28 | 12,40 | 0,66 | 100,82 |
| P-4203-21 | 38,14 | 0,06 | 0,88 | 5,23 | 2,65 | 41,87 | 0,84 | 0,08 | 0,09 | 0,29 | 10,54 | 0,00 | 100,67 |
| P-4203-22 | 38,80 | 0,03 | 0,76 | 5,08 | 2,79 | 41,87 | 0,84 | 0,08 | 0,11 | 0,28 | 10,18 | 0,00 | 100,82 |
| P-4203-23 | 39,12 | 0,03 | 1,02 | 5,86 | 2,30 | 41,26 | 0,28 | 0,08 | 0,20 | 0,29 | 10,36 | 1,98 | 100,80 |
| P-4203-24 | 37,44 | 0,02 | 0,40 | 5,44 | 2,96 | 42,47 | 0,28 | 0,05 | 0,06 | 0,30 | 11,26 | 0,88 | 100,68 |
| P-4203-25 | 38,80 | 0,02 | 1,00 | 5,86 | 2,20 | 41,06 | 0,28 | 0,06 | 0,04 | 0,32 | 10,98 | 0,88 | 100,62 |
| P-4203-26 | 38,02 | 0,01 | 0,56 | 4,99 | 2,80 | 43,08 | 0,56 | 0,04 | 0,03 | 0,29 | 10,46 | 0,00 | 100,84 |
| P-4203-27 | 39,10 | 0,02 | 0,54 | 4,60 | 3,17 | 42,07 | 0,56 | 0,06 | 0,04 | 0,32 | 10,28 | 0,00 | 100,76 |
| P-4203-28 | 37,90 | 0,01 | 0,62 | 5,55 | 2,68 | 41,66 | 0,84 | 0,08 | 0,07 | 0,30 | 10,92 | 0,00 | 100,62 |
| P-4203-29 | 38,68 | 0,01 | 0,44 | 4,60 | 3,17 | 43,28 | 0,56 | 0,06 | 0,04 | 0,24 | 9,68 | 0,66 | 100,76 |
| P-4203-3 | 37,58 | 0,02 | 0,22 | 4,99 | 2,82 | 44,29 | 0,14 | 0,03 | 0,01 | 0,23 | 9,56 | 0,00 | 99,89 |
| P-4203-3 | 40,14 | 0,07 | 4,86 | 4,25 | 1,76 | 37,45 | 0,00 | 0,12 | 0,53 | 0,21 | 11,24 | 1,98 | 100,63 |
| P-4203-31 | 38,20 | 0,03 | 0,68 | 5,07 | 2,75 | 43,28 | 0,56 | 0,05 | 0,05 | 0,32 | 9,86 | 0,00 | 100,85 |
| P-4203-32 | 38,72 | 0,03 | 0,68 | 5,16 | 3,32 | 42,20 | 0,84 | 0,06 | 0,09 | 0,36 | 9,42 | 1,32 | 100,88 |
| P-4203-33 | 40,46 | 0,03 | 0,86 | 4,12 | 3,32 | 42,20 | 0,56 | 0,10 | 0,21 | 0,26 | 8,54 | 0,00 | 100,66 |
| P-4203-34 | 38,76 | 0,03 | 0,58 | 5,32 | 3,25 | 41,87 | 0,56 | 0,06 | 0,20 | 0,17 | 10,02 | 0,00 | 100,82 |
| P-4203-35 | 38,66 | 0,01 | 0,46 | 5,15 | 2,82 | 42,07 | 0,12 | 0,06 | 0,04 | 0,32 | 10,88 | 0,00 | 100,58 |
| P-4203-36 | 39,00 | 0,01 | 0,92 | 5,14 | 2,54 | 42,87 | 0,56 | 0,06 | 0,04 | 0,28 | 9,44 | 0,00 | 100,86 |
| P-4203-37 | 39,00 | 0,02 | 0,66 | 4,51 | 2,75 | 42,47 | 0,28 | 0,05 | 0,04 | 0,26 | 10,52 | 0,88 | 100,56 |
| P-4203-38 | 34,80 | 0,01 | 0,12 | 5,79 | 2,61 | 43,28 | 0,84 | 0,14 | 0,07 | 0,26 | 10,68 | 0,44 | 98,60 |
| P-4203-4 | 40,08 | 0,02 | 0,40 | 6,18 | 2,47 | 41,17 | 0,42 | 0,03 | 0,01 | 0,27 | 9,16 | 0,00 | 100,21 |
| P-4203-5 | 41,50 | 0,05 | 1,04 | 4,07 | 1,41 | 41,27 | 0,14 | 0,02 | 0,01 | 0,11 | 11,18 | 0,00 | 100,80 |
| P-4203-6 | 37,70 | 0,05 | 0,08 | 6,05 | 3,60 | 43,28 | 0,42 | 0,03 | 0,02 | 0,22 | 8,30 | 0,66 | 99,75 |

| № обр. | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | FeO | MgO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | Cr ₂ O ₃ | П.п.п. | CO ₂ | Сумма |
|-----------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|-------|------|-------------------|------------------|--------------------------------|--------|-----------------|--------|
| P-4203-7 | 39,26 | 0,01 | 0,33 | 5,11 | 1,20 | 42,07 | 0,14 | 0,02 | 0,01 | 0,22 | 12,50 | 0,00 | 100,87 |
| P-4203-8 | 37,10 | 0,03 | 0,45 | 7,05 | 2,05 | 40,67 | 1,82 | 0,03 | 0,02 | 0,26 | 10,58 | 0,00 | 100,06 |
| P-4203-9 | 36,76 | 0,03 | 0,30 | 5,61 | 2,33 | 43,28 | 0,14 | 0,03 | 0,02 | 0,23 | 11,50 | 0,66 | 100,23 |
| P-4241-1 | 36,98 | 0,00 | 0,42 | 5,30 | 2,25 | 41,57 | 0,56 | 0,14 | 0,08 | 0,19 | 12,72 | 0,00 | 100,38 |
| P-4241-2 | 39,04 | 0,00 | 0,58 | 6,71 | 1,13 | 38,91 | 0,56 | 0,16 | 0,05 | 0,31 | 13,12 | 0,00 | 100,70 |
| P-4241-3 | 39,08 | 0,00 | 0,98 | 6,09 | 1,83 | 39,95 | 0,56 | 0,16 | 0,11 | 0,35 | 11,58 | 0,00 | 100,80 |
| P-4241-4 | 36,74 | 0,00 | 0,34 | 5,28 | 3,10 | 44,25 | 0,56 | 0,16 | 0,05 | 0,31 | 9,80 | 0,00 | 100,74 |
| P-4241-5 | 37,12 | 0,00 | 0,60 | 4,58 | 2,54 | 42,39 | 1,43 | 0,14 | 0,05 | 0,23 | 10,96 | 0,00 | 100,20 |
| P-4241-6 | 39,14 | 0,02 | 1,20 | 5,20 | 1,98 | 40,55 | 1,14 | 0,16 | 0,11 | 0,24 | 10,92 | 0,77 | 100,76 |
| P-4241-7 | 35,00 | 0,00 | 0,34 | 6,10 | 2,40 | 43,02 | 0,85 | 0,16 | 0,11 | 0,24 | 12,44 | 0,00 | 100,81 |
| P-4241-8 | 40,44 | 0,00 | 1,78 | 4,22 | 2,40 | 39,52 | 0,85 | 0,17 | 0,05 | 0,30 | 10,40 | 0,55 | 100,24 |
| P-4241-9 | 40,44 | 0,01 | 1,02 | 5,14 | 2,40 | 39,94 | 0,56 | 0,17 | 0,08 | 0,30 | 10,52 | 0,00 | 100,70 |
| P-4241-10 | 37,00 | 0,01 | 1,12 | 6,09 | 2,36 | 41,36 | 0,56 | 0,17 | 0,08 | 0,30 | 11,68 | 0,00 | 100,87 |
| P-4241-11 | 39,18 | 0,01 | 1,08 | 5,54 | 2,32 | 41,36 | 0,56 | 0,17 | 0,08 | 0,31 | 10,12 | 0,00 | 100,87 |
| P-4241-12 | 38,04 | 0,00 | 0,62 | 5,35 | 2,82 | 42,80 | 0,00 | 0,17 | 0,05 | 0,26 | 10,48 | 0,00 | 100,78 |
| P-4241-13 | 36,92 | 0,00 | 0,42 | 5,85 | 1,76 | 42,39 | 0,28 | 0,17 | 0,11 | 0,26 | 12,12 | 0,00 | 100,41 |
| P-4241-14 | 37,00 | 0,00 | 0,92 | 6,55 | 2,00 | 40,97 | 0,56 | 0,17 | 0,11 | 0,26 | 12,17 | 0,55 | 100,85 |
| P-4241-15 | 36,96 | 0,00 | 0,90 | 5,64 | 2,96 | 42,80 | 0,56 | 0,16 | 0,08 | 0,31 | 10,24 | 0,00 | 100,77 |
| P-4241-16 | 37,04 | 0,00 | 0,72 | 5,55 | 2,68 | 42,60 | 1,43 | 0,17 | 0,11 | 0,26 | 10,16 | 0,00 | 100,88 |
| P-4241-17 | 38,64 | 0,00 | 0,72 | 5,56 | 2,96 | 42,18 | 0,28 | 0,17 | 0,08 | 0,32 | 9,32 | 0,00 | 100,35 |
| P-4241-18 | 38,82 | 0,00 | 0,66 | 3,36 | 4,65 | 45,26 | 0,85 | 0,17 | 0,11 | 0,35 | 5,96 | 0,00 | 100,37 |
| P-4241-19 | 40,34 | 0,01 | 0,76 | 3,11 | 4,37 | 43,82 | 0,85 | 0,20 | 0,11 | 0,30 | 5,64 | 0,00 | 99,70 |
| P-4241-20 | 38,12 | 0,01 | 0,48 | 4,08 | 3,95 | 43,82 | 0,85 | 0,10 | 0,07 | 0,31 | 7,20 | 0,00 | 99,20 |
| P-4241-21 | 38,44 | 0,01 | 0,58 | 4,38 | 3,88 | 44,00 | 0,57 | 0,08 | 0,05 | 0,34 | 7,84 | 0,44 | 100,42 |
| P-4241-22 | 38,94 | 0,00 | 1,00 | 4,46 | 3,32 | 42,90 | 0,71 | 0,08 | 0,05 | 0,41 | 7,76 | 0,00 | 99,81 |
| P-4241-23 | 38,18 | 0,01 | 0,78 | 5,92 | 3,39 | 41,98 | 0,85 | 0,09 | 0,05 | 0,34 | 8,56 | 0,66 | 100,37 |
| P-4241-24 | 40,10 | 0,01 | 0,68 | 4,81 | 2,68 | 43,41 | 0,29 | 0,09 | 0,05 | 0,30 | 8,16 | 0,00 | 100,83 |
| P-4241-25 | 38,26 | 0,00 | 0,60 | 4,20 | 3,39 | 44,54 | 0,14 | 0,09 | 0,07 | 0,30 | 8,56 | 0,77 | 100,32 |

| № обр. | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | FeO | MgO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | Cr ₂ O ₃ | П.п.п. | CO ₂ | Сумма |
|-----------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|-------|------|-------------------|------------------|--------------------------------|--------|-----------------|--------|
| P-4241-26 | 40,72 | 0,00 | 1,02 | 4,21 | 2,82 | 41,98 | 0,57 | 0,10 | 0,05 | 0,30 | 8,88 | 0,00 | 100,83 |
| P-4241-27 | 38,84 | 0,01 | 0,56 | 4,28 | 3,18 | 43,62 | 0,57 | 0,10 | 0,05 | 0,29 | 9,24 | 0,77 | 100,90 |
| P-4241-28 | 37,28 | 0,01 | 0,58 | 4,99 | 2,68 | 43,62 | 0,85 | 0,06 | 0,05 | 0,30 | 10,32 | 0,00 | 100,87 |
| P-4241-29 | 38,40 | 0,01 | 0,48 | 4,10 | 3,39 | 44,54 | 1,00 | 0,09 | 0,05 | 0,30 | 8,28 | 0,00 | 100,81 |
| P-4241-30 | 39,18 | 0,01 | 0,60 | 3,86 | 3,45 | 44,00 | 0,57 | 0,10 | 0,05 | 0,20 | 8,32 | 0,00 | 100,78 |
| P-4241-31 | 38,80 | 0,00 | 1,04 | 4,78 | 3,10 | 42,39 | 0,42 | 0,08 | 0,07 | 0,38 | 9,44 | 0,66 | 100,64 |
| P-4241-32 | 39,68 | 0,03 | 0,84 | 9,43 | 1,20 | 40,12 | 0,85 | 0,12 | 0,07 | 0,82 | 7,40 | 1,32 | 100,80 |
| P-4241-33 | 41,00 | 0,01 | 1,10 | 4,98 | 2,04 | 40,12 | 0,85 | 0,11 | 0,33 | 0,30 | 10,00 | 0,44 | 100,96 |
| P-4241-34 | 37,16 | 0,01 | 1,00 | 5,50 | 2,29 | 41,98 | 0,29 | 0,08 | 0,10 | 0,35 | 12,08 | 0,44 | 100,97 |
| P-4241-35 | 44,82 | 0,01 | 1,35 | 6,62 | 2,08 | 34,02 | 2,45 | 0,15 | 0,25 | 0,32 | 8,48 | 0,44 | 100,66 |
| P-4241-36 | 39,88 | 0,01 | 0,92 | 5,99 | 1,38 | 40,75 | 0,71 | 0,20 | 0,07 | 0,24 | 10,42 | 0,00 | 100,70 |
| P-4241-37 | 38,10 | 0,01 | 0,70 | 4,75 | 2,89 | 44,00 | 0,42 | 0,09 | 0,05 | 0,26 | 9,08 | 0,44 | 100,55 |
| P-4241-38 | 40,26 | 0,01 | 1,60 | 4,78 | 2,22 | 41,16 | 0,57 | 0,08 | 0,10 | 0,27 | 9,56 | 0,00 | 100,72 |
| P-4241-39 | 40,02 | 0,01 | 0,87 | 4,56 | 3,39 | 41,88 | 1,14 | 0,10 | 0,05 | 0,27 | 8,12 | 0,66 | 100,58 |
| P-4241-40 | 39,64 | 0,01 | 0,94 | 3,68 | 3,18 | 44,00 | 0,57 | 0,09 | 0,14 | 0,20 | 8,00 | 0,00 | 100,60 |
| P-4241-41 | 41,94 | 0,02 | 0,63 | 3,96 | 3,28 | 42,39 | 1,43 | 0,12 | 0,11 | 0,20 | 6,20 | 0,00 | 100,48 |
| P-4241-42 | 39,64 | 0,00 | 0,82 | 5,13 | 3,60 | 41,46 | 0,71 | 0,10 | 0,05 | 0,38 | 8,44 | 0,00 | 100,47 |
| P-4241-43 | 40,74 | 0,01 | 0,98 | 4,66 | 2,40 | 42,00 | 0,29 | 0,09 | 0,05 | 0,21 | 9,24 | 0,00 | 100,80 |
| P-4241-44 | 38,86 | 0,01 | 0,62 | 5,50 | 2,40 | 42,39 | 0,42 | 0,07 | 0,07 | 0,20 | 10,16 | 0,00 | 100,85 |
| P-4241-45 | 41,40 | 0,01 | 0,76 | 5,30 | 2,96 | 41,46 | 0,42 | 0,08 | 0,05 | 0,30 | 7,96 | 1,32 | 100,84 |
| P-4241-46 | 39,92 | 0,01 | 0,57 | 4,31 | 2,25 | 43,21 | 0,00 | 0,07 | 0,05 | 0,23 | 10,24 | 0,00 | 100,95 |
| P-4241-47 | 40,40 | 0,01 | 0,62 | 5,99 | 2,46 | 40,75 | 0,71 | 0,08 | 0,05 | 0,24 | 9,32 | 0,00 | 100,76 |
| P-4241-48 | 37,80 | 0,01 | 0,64 | 5,70 | 2,96 | 44,00 | 0,42 | 0,07 | 0,05 | 0,30 | 8,48 | 0,00 | 100,64 |
| P-4241-49 | 38,20 | 0,01 | 0,71 | 5,62 | 2,58 | 41,62 | 0,71 | 0,08 | 0,07 | 0,30 | 10,40 | 0,00 | 100,46 |
| P-4241-50 | 37,46 | 0,01 | 0,50 | 6,40 | 2,96 | 42,82 | 0,85 | 0,08 | 0,07 | 0,25 | 9,24 | 0,00 | 100,86 |
| P-4241-51 | 35,74 | 0,01 | 1,00 | 5,48 | 2,96 | 44,34 | 0,14 | 0,08 | 0,07 | 0,30 | 10,60 | 0,00 | 100,88 |
| P-4045-2 | 37,62 | 0,00 | 0,24 | 3,57 | 5,00 | 45,87 | 0,56 | 0,07 | 0,15 | 0,27 | 5,58 | 0,00 | 99,08 |
| P-4045-3 | 37,42 | 0,00 | 0,24 | 2,80 | 5,15 | 46,08 | 0,56 | 0,07 | 0,15 | 0,34 | 6,08 | 0,00 | 99,04 |
| P-4045-4 | 37,66 | 0,00 | 0,24 | 2,47 | 4,80 | 47,20 | 0,28 | 0,07 | 0,15 | 0,30 | 5,70 | 0,55 | 99,01 |

| № обр. | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | FeO | MgO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | Cr ₂ O ₃ | П.п.п. | CO ₂ | Сумма |
|-----------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|-------|------|-------------------|------------------|--------------------------------|--------|-----------------|--------|
| P-4045-5 | 37,72 | 0,00 | 0,24 | 2,70 | 4,52 | 46,90 | 0,56 | 0,08 | 0,10 | 0,26 | 5,94 | 0,00 | 99,16 |
| P-4045-15 | 38,32 | 0,00 | 0,58 | 2,62 | 4,02 | 45,36 | 1,43 | 0,08 | 0,10 | 0,65 | 5,74 | 0,00 | 99,03 |
| P-4045-19 | 33,46 | 0,00 | 0,52 | 4,74 | 2,47 | 44,85 | 1,43 | 0,07 | 0,10 | 1,52 | 10,84 | 0,55 | 100,14 |
| P-4045-20 | 37,50 | 0,00 | 0,22 | 2,02 | 4,23 | 47,30 | 1,43 | 0,07 | 0,10 | 0,30 | 6,24 | 0,00 | 99,54 |
| P-4045-24 | 37,40 | 0,00 | 0,22 | 2,08 | 4,65 | 48,33 | 0,85 | 0,16 | 0,05 | 0,12 | 6,04 | 0,00 | 100,04 |
| P-4045-25 | 37,16 | 0,00 | 0,22 | 2,88 | 4,58 | 48,94 | 0,00 | 0,19 | 0,05 | 0,20 | 6,50 | 0,55 | 100,85 |
| P-4045-26 | 37,10 | 0,00 | 0,24 | 3,75 | 4,30 | 45,46 | 0,85 | 0,19 | 0,08 | 0,27 | 8,22 | 0,00 | 100,60 |
| P-4045-27 | 38,14 | 0,00 | 0,22 | 3,12 | 4,16 | 46,70 | 1,14 | 0,16 | 0,11 | 0,19 | 6,58 | 0,00 | 100,68 |
| P-4016-15 | 36,52 | 0,05 | 0,11 | 3,26 | 4,45 | 45,34 | 0,29 | 0,02 | 0,02 | 0,19 | 8,62 | 0,00 | 99,01 |
| P-4016-16 | 36,02 | 0,06 | 0,12 | 3,10 | 4,23 | 45,31 | 0,29 | 0,01 | 0,02 | 0,20 | 9,56 | 0,00 | 99,07 |
| P-4016-17 | 36,14 | 0,03 | 0,12 | 3,19 | 4,66 | 45,32 | 0,14 | 0,02 | 0,01 | 0,23 | 9,58 | 0,00 | 99,61 |
| P-4016-18 | 32,18 | 0,05 | 0,12 | 4,83 | 2,68 | 43,62 | 0,14 | 0,02 | 0,02 | 0,18 | 15,54 | 0,00 | 99,53 |
| P-4016-19 | 33,74 | 0,04 | 0,15 | 4,64 | 3,48 | 46,67 | 0,14 | 0,02 | 0,02 | 0,28 | 9,76 | 0,00 | 99,09 |
| P-4016-20 | 34,86 | 0,03 | 0,17 | 3,46 | 4,09 | 46,31 | 0,14 | 0,02 | 0,02 | 0,42 | 9,44 | 0,00 | 99,13 |
| P-4016-21 | 36,54 | 0,06 | 0,22 | 4,44 | 3,53 | 44,09 | 0,14 | 0,02 | 0,02 | 0,42 | 9,44 | 0,44 | 99,06 |
| P-4020-1 | 36,32 | 0,04 | 0,17 | 6,46 | 0,56 | 41,25 | 0,14 | 0,01 | 0,02 | 0,22 | 14,64 | 0,00 | 99,95 |
| P-4020-2 | 37,88 | 0,06 | 0,11 | 3,64 | 4,52 | 47,92 | 0,14 | 0,01 | 0,02 | 0,21 | 4,88 | 0,00 | 99,29 |
| P-4020-4 | 37,46 | 0,04 | 0,11 | 3,10 | 3,95 | 47,74 | 0,14 | 0,04 | 0,02 | 0,24 | 6,48 | 0,44 | 99,48 |
| P-4020-5 | 36,76 | 0,04 | 0,15 | 2,78 | 4,52 | 48,33 | 0,14 | 0,03 | 0,02 | 0,29 | 5,88 | 0,44 | 99,09 |
| E-777/1 | 39,16 | 0,03 | 1,08 | 4,48 | 4,36 | 43,88 | 0,56 | 0,21 | 0,02 | 0,40 | 6,42 | He out. | 100,60 |
| E-778/1 | 38,94 | 0,04 | 0,66 | 4,55 | 3,94 | 43,10 | 1,12 | 0,10 | 0,02 | 0,38 | 7,50 | He out. | 100,35 |
| E-778/2 | 36,98 | 0,04 | 0,22 | 4,65 | 4,57 | 44,68 | 0,85 | 0,03 | 0,01 | 0,28 | 8,14 | He out. | 100,45 |
| E-779/1 | 38,36 | 0,04 | 0,81 | 4,70 | 3,45 | 44,09 | 0,56 | 0,10 | 0,02 | 0,37 | 7,66 | He out. | 100,16 |
| E-780/1 | 38,54 | 0,04 | 0,58 | 6,31 | 3,65 | 40,92 | 1,12 | 0,21 | 0,02 | 0,35 | 8,44 | He out. | 100,18 |
| E-780/2 | 36,88 | 0,03 | 1,52 | 5,32 | 4,36 | 43,88 | 0,56 | 0,11 | 0,02 | 0,35 | 7,76 | He out. | 100,79 |
| E-781/1 | 38,42 | 0,03 | 1,62 | 6,04 | 2,60 | 41,12 | 0,56 | 0,07 | 0,01 | 0,33 | 9,94 | He out. | 100,74 |
| E-782/1 | 36,70 | 0,03 | 0,28 | 6,84 | 3,17 | 43,30 | 0,85 | 0,03 | 0,01 | 0,32 | 9,10 | He out. | 100,63 |
| E-782/2 | 38,12 | 0,02 | 0,76 | 7,45 | 3,45 | 40,71 | 1,41 | 0,10 | 0,02 | 0,35 | 8,40 | He out. | 100,79 |

Продолжение прилож. 3

| № обр. | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | FeO | MgO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | Cr ₂ O ₃ | П.п.п. | CO ₂ | Сумма |
|-----------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|-------|-------|-------------------|------------------|--------------------------------|--------|-----------------|--------|
| E-802/2 | 38,82 | 0,03 | 0,28 | 2,83 | 6,61 | 48,24 | 0,28 | 0,03 | 0,01 | 0,44 | 1,96 | He отр. | 99,53 |
| E-1000/1 | 37,06 | 0,01 | 0,73 | 6,02 | 3,00 | 43,62 | 0,29 | 0,07 | 0,02 | 0,36 | 8,70 | He отр. | 99,88 |
| E-1001/1 | 38,90 | 0,02 | 0,68 | 4,37 | 3,92 | 44,54 | 0,43 | 0,07 | 0,02 | 0,37 | 5,78 | He отр. | 99,10 |
| E-1004/1 | 38,44 | 0,01 | 0,57 | 6,79 | 1,92 | 41,88 | 0,29 | 0,05 | 0,03 | 0,33 | 10,16 | He отр. | 100,47 |
| E-1004/2 | 36,82 | 0,01 | 0,39 | 5,97 | 3,02 | 45,08 | 0,29 | 0,05 | 0,03 | 0,37 | 8,72 | He отр. | 100,74 |
| E-1008/1 | 38,94 | 0,02 | 0,53 | 4,64 | 4,61 | 45,77 | 0,14 | 0,06 | 0,03 | 0,48 | 5,40 | He отр. | 100,62 |
| E-1016/1 | 38,16 | 0,03 | 0,28 | 4,39 | 4,08 | 45,27 | 0,85 | 0,04 | 0,01 | 0,33 | 6,52 | He отр. | 99,96 |
| E-1025/1 | 36,32 | 0,01 | 0,24 | 6,11 | 3,54 | 45,98 | 0,29 | 0,05 | 0,03 | 0,49 | 7,42 | He отр. | 100,48 |
| E-1090/1 | 36,00 | 0,01 | 0,36 | 6,48 | 2,38 | 44,46 | 0,14 | 0,06 | 0,03 | 0,31 | 10,38 | He отр. | 100,61 |
| E-1090/2 | 37,00 | 0,02 | 0,33 | 6,15 | 3,16 | 45,79 | 0,29 | 0,05 | 0,03 | 0,35 | 7,72 | He отр. | 100,89 |
| E-1090/3 | 34,06 | 0,01 | 0,44 | 8,30 | 1,10 | 41,77 | <0,05 | 0,06 | 0,03 | 0,56 | 14,52 | He отр. | 100,85 |
| E-1090/4 | 39,38 | 0,01 | 0,89 | 5,29 | 3,09 | 42,09 | 0,29 | 0,33 | 0,05 | 0,25 | 8,18 | He отр. | 99,85 |
| E-1090/5 | 39,00 | 0,02 | 0,89 | 5,70 | 2,72 | 42,39 | 0,57 | 0,14 | 0,03 | 0,47 | 8,44 | He отр. | 100,37 |
| E-1090/6 | 38,38 | 0,01 | 0,70 | 3,96 | 4,16 | 43,93 | 0,29 | 0,10 | 0,03 | 0,42 | 7,78 | He отр. | 99,76 |
| E-1090/7 | 39,10 | 0,01 | 0,69 | 4,29 | 3,50 | 43,60 | 0,29 | 0,15 | 0,02 | 0,25 | 7,10 | He отр. | 99,00 |
| E-1090/8 | 38,34 | 0,03 | 0,38 | 1,98 | 4,74 | 49,77 | 0,10 | 0,01 | 0,01 | 0,29 | 4,08 | He отр. | 99,61 |
| E-1090/9 | 37,48 | 0,04 | 0,36 | 2,71 | 4,87 | 47,31 | 0,29 | 0,02 | 0,01 | 0,39 | 5,78 | He отр. | 99,26 |
| E-1090/11 | 38,20 | 0,02 | 0,30 | 2,28 | 4,32 | 48,74 | 0,10 | 0,01 | 0,01 | 0,41 | 4,34 | He отр. | 98,61 |
| E-1090/12 | 38,86 | 0,02 | 0,32 | 3,25 | 4,39 | 45,05 | 0,86 | 0,01 | 0,01 | 0,38 | 5,84 | He отр. | 98,99 |
| E-1090/13 | 38,02 | 0,02 | 0,39 | 3,34 | 4,67 | 45,47 | 0,14 | 0,04 | 0,01 | 0,21 | 6,56 | He отр. | 98,87 |
| E-1090/14 | 38,60 | 0,02 | 0,30 | 3,34 | 4,67 | 47,51 | 0,10 | 0,02 | 0,01 | 0,29 | 3,98 | He отр. | 98,74 |
| E-1090/15 | 38,50 | 0,03 | 0,40 | 3,41 | 4,46 | 45,87 | 0,10 | 0,13 | 0,01 | 0,39 | 5,42 | He отр. | 98,62 |
| E-1093/1 | 53,40 | 0,04 | 1,06 | 1,72 | 1,51 | 27,85 | 9,69 | 0,55 | 0,05 | 0,22 | 3,72 | He отр. | 99,81 |
| E-1239/3 | 56,06 | 0,02 | 0,29 | 1,14 | 5,35 | 31,54 | 0,29 | 0,09 | 0,02 | 0,09 | 4,00 | He отр. | 98,89 |
| E-1534/1 | 38,80 | 0,02 | 0,40 | 4,92 | 4,32 | 43,42 | 0,10 | 0,03 | 0,02 | 0,61 | 6,86 | He отр. | 99,40 |
| E-1701/1 | 34,90 | 0,03 | 0,37 | 5,33 | 3,23 | 44,03 | 0,29 | 0,02 | 0,01 | 0,38 | 10,56 | He отр. | 99,15 |
| E-1703/1 | 40,10 | 0,03 | 2,16 | 4,02 | 3,91 | 41,78 | 0,10 | 0,12 | 0,02 | 0,50 | 7,26 | He отр. | 99,90 |
| E-1741/1 | 39,78 | 0,02 | 1,08 | 4,93 | 1,65 | 40,14 | 0,10 | 0,03 | 0,02 | 0,29 | 12,28 | He отр. | 100,22 |

| № обр. | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | FeO | MgO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | CaF ₂ O ₃ | П.п.п. | CO ₂ | Сумма |
|----------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|-------|------|-------------------|------------------|---------------------------------|--------|-----------------|--------|
| E-1760/1 | 48,84 | 0,03 | 1,14 | 4,61 | 3,02 | 35,43 | 1,43 | 0,11 | 0,02 | 0,50 | 5,42 | He отр. | 100,55 |
| E-1800/1 | 37,20 | 0,02 | 0,48 | 4,13 | 4,60 | 46,08 | 0,10 | 0,04 | 0,02 | 0,41 | 6,64 | He отр. | 99,62 |
| E-1801/1 | 39,00 | 0,01 | 0,90 | 3,76 | 3,64 | 42,39 | 0,57 | 0,21 | 0,03 | 0,37 | 8,54 | He отр. | 99,42 |
| E-1801/2 | 35,90 | 0,01 | 1,04 | 4,22 | 4,05 | 45,47 | 0,10 | 0,05 | 0,01 | 0,35 | 8,04 | He отр. | 99,14 |
| E-1802/1 | 37,98 | 0,01 | 0,40 | 3,70 | 4,60 | 44,43 | 0,71 | 0,05 | 0,02 | 0,34 | 6,40 | He отр. | 98,64 |
| E-1803/1 | 36,72 | 0,02 | 0,46 | 4,20 | 4,43 | 45,87 | 0,28 | 0,05 | 0,03 | 0,62 | 6,02 | He отр. | 98,70 |
| E-1804/1 | 33,66 | 0,03 | 0,30 | 4,92 | 4,15 | 46,28 | 0,85 | 0,05 | 0,05 | 0,39 | 8,06 | He отр. | 98,74 |
| E-1805/1 | 33,56 | 0,02 | 0,26 | 4,68 | 3,05 | 46,48 | 0,28 | 0,03 | 0,03 | 0,40 | 10,10 | He отр. | 98,89 |
| E-1806/1 | 35,84 | 0,04 | 0,66 | 5,84 | 2,60 | 41,77 | 0,85 | 0,13 | 0,03 | 0,40 | 11,06 | He отр. | 99,22 |
| E-1807/1 | 36,48 | 0,04 | 0,72 | 5,57 | 3,02 | 42,08 | 0,42 | 0,14 | 0,03 | 0,39 | 9,88 | He отр. | 98,77 |
| E-1808/1 | 37,50 | 0,03 | 0,66 | 4,76 | 3,98 | 43,00 | 0,85 | 0,09 | 0,03 | 0,42 | 7,78 | He отр. | 99,10 |
| E-1809/1 | 32,94 | 0,03 | 0,40 | 5,11 | 2,95 | 45,66 | 0,28 | 0,05 | 0,03 | 0,39 | 10,80 | He отр. | 98,64 |
| E-1810/1 | 35,92 | 0,02 | 0,32 | 4,74 | 3,08 | 45,10 | 0,28 | 0,04 | 0,02 | 0,45 | 10,32 | He отр. | 100,29 |
| E-1811/1 | 37,24 | 0,03 | 0,72 | 5,66 | 3,70 | 43,00 | 0,28 | 0,09 | 0,03 | 0,35 | 8,42 | He отр. | 99,52 |
| E-1811/2 | 34,46 | 0,02 | 0,40 | 4,35 | 4,52 | 46,69 | 0,10 | 0,04 | 0,02 | 0,35 | 7,72 | He отр. | 98,57 |
| E-1812/1 | 36,34 | 0,02 | 0,54 | 4,92 | 3,43 | 45,97 | 0,28 | 0,04 | 0,03 | 0,80 | 7,94 | He отр. | 100,31 |
| E-1813/1 | 35,70 | 0,03 | 0,36 | 5,39 | 3,36 | 45,67 | 0,10 | 0,05 | 0,03 | 0,43 | 9,60 | He отр. | 100,62 |
| E-1814/1 | 35,06 | 0,03 | 0,74 | 5,52 | 2,88 | 44,23 | 0,28 | 0,09 | 0,03 | 0,40 | 9,74 | He отр. | 99,00 |
| E-1815/1 | 34,50 | 0,02 | 0,82 | 4,62 | 3,43 | 44,64 | 0,28 | 0,18 | 0,03 | 0,36 | 9,62 | He отр. | 98,50 |
| E-1816/1 | 36,14 | 0,02 | 0,72 | 3,95 | 4,39 | 45,46 | 0,57 | 0,15 | 0,03 | 0,33 | 6,88 | He отр. | 98,64 |
| E-1817/1 | 38,08 | 0,03 | 0,62 | 5,12 | 3,23 | 44,03 | 0,57 | 0,09 | 0,02 | 0,34 | 8,50 | He отр. | 100,63 |
| E-1818/1 | 35,02 | 0,02 | 0,50 | 5,17 | 4,39 | 44,65 | 0,57 | 0,06 | 0,03 | 0,69 | 7,56 | He отр. | 98,66 |
| E-1819/1 | 38,16 | 0,02 | 0,82 | 5,23 | 3,22 | 43,00 | 0,28 | 0,14 | 0,03 | 0,48 | 8,82 | He отр. | 100,20 |
| E-1820/1 | 35,06 | 0,02 | 0,34 | 5,56 | 3,57 | 43,82 | 0,85 | 0,05 | 0,02 | 0,37 | 8,98 | He отр. | 98,64 |
| E-1821/1 | 33,04 | 0,02 | 0,46 | 6,16 | 3,50 | 45,05 | 0,28 | 0,06 | 0,02 | 0,52 | 9,50 | He отр. | 98,61 |
| E-1822/1 | 37,46 | 0,03 | 0,76 | 4,88 | 3,43 | 41,77 | 0,57 | 0,15 | 0,03 | 0,40 | 9,28 | He отр. | 98,76 |
| E-1823/1 | 36,74 | 0,03 | 0,76 | 5,44 | 2,60 | 42,60 | 0,28 | 0,14 | 0,05 | 0,32 | 10,28 | He отр. | 99,24 |
| BT-3-0-1 | 40,10 | 0,03 | 0,57 | 4,90 | 1,84 | 41,58 | 0,10 | 0,07 | 0,03 | 0,29 | 10,84 | 0,44 | 100,25 |

Продолжение прилож. 3

| № обр. | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | FeO | MgO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | Cr ₂ O ₃ | П.п.п. | CO ₂ | Сумма |
|-----------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|-------|------|-------------------|------------------|--------------------------------|--------|-----------------|--------|
| БТ-3-0-2 | 35,92 | 0,00 | 0,50 | 5,23 | 3,47 | 41,53 | 0,29 | 0,04 | 0,01 | 0,41 | 13,20 | 1,32 | 100,60 |
| БТ-3-0-3 | 39,52 | 0,03 | 0,41 | 7,80 | 1,84 | 40,30 | 0,28 | 0,07 | 0,03 | 0,37 | 10,08 | 0,44 | 100,73 |
| БТ-3-0-4 | 38,74 | 0,03 | 0,41 | 6,50 | 2,09 | 42,09 | 0,10 | 0,05 | 0,04 | 0,32 | 10,42 | 0,44 | 100,69 |
| БТ-3-0-5 | 41,22 | 0,00 | 0,81 | 5,61 | 2,12 | 39,50 | 0,86 | 0,04 | 0,01 | 0,26 | 10,38 | 0,66 | 100,81 |
| БТ-3-0-6 | 40,66 | 0,03 | 0,74 | 7,08 | 2,20 | 40,40 | 0,10 | 0,05 | 0,03 | 0,36 | 9,18 | 0,40 | 100,73 |
| БТ-3-10-1 | 37,88 | 0,04 | 1,68 | 7,52 | 1,77 | 40,05 | 0,10 | 0,05 | 0,03 | 0,88 | 10,48 | 0,40 | 100,38 |
| БТ-3-2-1 | 36,68 | 0,00 | 0,51 | 6,40 | 2,27 | 43,26 | 0,00 | 0,02 | 0,01 | 0,29 | 11,38 | 1,32 | 100,82 |
| БТ-3-2-4 | 40,76 | 0,03 | 0,59 | 6,89 | 1,56 | 40,05 | 0,14 | 0,05 | 0,03 | 0,37 | 10,36 | 0,40 | 100,83 |
| БТ-3-3-1 | 39,22 | 0,03 | 1,01 | 6,43 | 1,11 | 40,46 | 0,10 | 0,05 | 0,03 | 0,34 | 11,86 | 0,40 | 100,56 |
| БТ-3-3-5 | 39,66 | 0,03 | 0,52 | 6,35 | 2,37 | 41,38 | 0,43 | 0,05 | 0,03 | 0,32 | 9,56 | <0,40 | 100,70 |
| БТ-3-4-1 | 39,36 | 0,03 | 1,11 | 5,03 | 0,96 | 42,92 | 0,10 | 0,04 | 0,03 | 0,34 | 10,78 | 0,40 | 100,60 |
| БТ-3-4-2 | 37,62 | 0,23 | 11,65 | 1,96 | 0,14 | 30,99 | 0,10 | 0,04 | 0,03 | 0,29 | 17,76 | 0,40 | 100,71 |
| БТ-3-4-5 | 38,76 | 0,03 | 1,36 | 6,58 | 1,24 | 41,17 | 0,10 | 0,07 | 0,04 | 0,34 | 11,14 | 0,40 | 100,73 |
| БТ-3-4-6 | 38,48 | 0,03 | 1,04 | 6,35 | 1,45 | 41,37 | 0,10 | 0,07 | 0,04 | 0,40 | 10,84 | 0,40 | 100,07 |
| БТ-3-5-1 | 38,02 | 0,31 | 11,40 | 2,18 | 0,14 | 31,09 | 0,10 | 0,04 | 0,03 | 0,40 | 17,06 | 0,40 | 100,67 |
| БТ-3-5-5 | 41,04 | 0,05 | 1,14 | 5,36 | 1,98 | 41,48 | 0,14 | 0,05 | 0,04 | 0,34 | 9,00 | 0,40 | 100,62 |
| БТ-3-5-7 | 36,58 | 0,04 | 0,58 | 6,42 | 1,59 | 43,62 | 0,10 | 0,07 | 0,03 | 0,32 | 11,72 | 0,40 | 100,97 |
| БТ-3-6-1 | 40,60 | 0,04 | 1,44 | 8,00 | 2,02 | 38,72 | 0,14 | 0,07 | 0,03 | 0,58 | 9,14 | 0,40 | 100,78 |
| БТ-3-6-2 | 40,02 | 0,04 | 0,64 | 6,27 | 1,20 | 40,06 | 0,10 | 0,04 | 0,04 | 0,26 | 12,04 | 0,40 | 100,61 |
| БТ-3-6-6 | 40,38 | 0,04 | 0,96 | 5,32 | 1,66 | 42,80 | 0,43 | 0,07 | 0,03 | 0,35 | 8,72 | 0,40 | 100,76 |
| БТ-3-7-1 | 45,20 | 0,04 | 0,92 | 6,84 | 1,06 | 36,69 | 0,43 | 0,10 | 0,03 | 0,44 | 9,00 | 0,40 | 100,75 |
| БТ-3-7-2 | 42,40 | 0,04 | 1,56 | 5,51 | 1,27 | 38,21 | 0,14 | 0,10 | 0,03 | 0,31 | 11,28 | 0,40 | 100,85 |
| БТ-3-7-4 | 41,34 | 0,03 | 2,01 | 3,17 | 0,28 | 40,68 | 0,10 | 0,04 | 0,04 | 0,31 | 13,00 | 0,40 | 100,90 |
| БТ-3-7-5 | 41,10 | 0,04 | 1,31 | 7,32 | 1,35 | 37,40 | 0,28 | 0,10 | 0,03 | 0,72 | 11,20 | 0,40 | 100,85 |
| БТ-3-8-1 | 41,40 | 0,04 | 0,91 | 5,62 | 1,03 | 38,53 | 0,10 | 0,04 | 0,03 | 0,30 | 13,00 | 0,40 | 100,90 |
| БТ-3-8-2 | 37,26 | 0,04 | 1,78 | 5,27 | 1,05 | 42,09 | 0,10 | 0,05 | 0,03 | 0,92 | 12,00 | 0,40 | 100,49 |
| БТ-3-9-1 | 39,36 | 0,04 | 0,67 | 5,28 | 1,59 | 41,78 | 0,10 | 0,07 | 0,03 | 0,31 | 11,56 | 0,40 | 100,69 |
| БТ-3-9-2 | 37,20 | 0,04 | 0,78 | 6,91 | 1,56 | 42,09 | 0,10 | 0,04 | 0,04 | 0,45 | 11,68 | 0,40 | 100,79 |
| БТ-3-9-4 | 39,48 | 0,04 | 2,93 | 3,69 | 0,71 | 40,25 | 0,10 | 0,04 | 0,05 | 0,36 | 13,24 | 0,40 | 100,79 |
| БТ-3-9-7 | 38,30 | 0,04 | 2,39 | 6,68 | 1,84 | 41,17 | 0,10 | 0,07 | 0,03 | 0,32 | 10,00 | 0,40 | 100,84 |

| № обр. | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | FeO | MnO | MgO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | Cr ₂ O ₃ | P ₂ O ₅ | П.п.п. | CO ₂ | Сумма |
|---------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|-------|-------|-------------------|------------------|--------------------------------|-------------------------------|--------|-----------------|--------|
| Y-9/1 | 42,14 | 0,01 | 0,06 | 2,80 | 5,41 | 0,14 | 45,23 | 0,10 | 0,05 | 0,05 | 0,32 | 0,01 | 3,92 | 0,40 | 100,64 |
| Y-11/1 | 52,24 | 0,03 | 0,20 | 0,99 | 2,01 | 0,11 | 22,46 | 19,71 | 0,33 | 0,04 | 0,39 | 0,01 | 0,96 | 0,40 | 99,88 |
| Y-13/1 | 39,58 | 0,01 | 0,05 | 2,94 | 4,85 | 0,14 | 48,68 | 0,10 | 0,04 | 0,04 | 0,44 | 0,01 | 4,04 | 0,44 | 101,36 |
| Y-33/1 | 42,20 | 0,01 | 0,05 | 2,75 | 5,13 | 0,14 | 46,12 | 0,10 | 0,04 | 0,05 | 0,31 | 0,01 | 3,14 | 0,44 | 100,49 |
| Y-33/2 | 38,06 | 0,01 | 0,10 | 3,86 | 4,60 | 0,14 | 47,20 | 0,10 | 0,04 | 0,05 | 0,36 | 0,01 | 5,48 | 0,44 | 100,45 |
| Y-51/3 | 38,38 | 0,01 | 0,12 | 3,02 | 2,69 | 0,10 | 48,09 | 0,10 | 0,04 | 0,05 | 0,35 | 0,01 | 7,60 | 0,88 | 101,44 |
| Y-52/1 | 40,12 | 0,01 | 0,07 | 3,98 | 4,38 | 0,13 | 46,21 | 0,10 | 0,06 | 0,04 | 0,30 | 0,01 | 5,04 | 0,40 | 100,85 |
| Y-53/2 | 40,28 | 0,01 | 0,14 | 4,53 | 4,32 | 0,15 | 45,03 | 0,14 | 0,06 | 0,04 | 0,34 | 0,01 | 5,58 | 0,88 | 101,51 |
| Y-58/1 | 38,08 | 0,01 | 0,07 | 4,44 | 4,07 | 0,15 | 47,30 | 0,10 | 0,06 | 0,04 | 0,41 | 0,01 | 5,84 | 0,66 | 101,24 |
| Y-61/1 | 37,50 | 0,01 | 0,16 | 3,54 | 4,60 | 0,15 | 48,19 | 0,10 | 0,06 | 0,04 | 0,43 | 0,01 | 4,42 | 0,44 | 99,65 |
| Y-62/1 | 38,40 | 0,01 | 0,09 | 3,02 | 4,78 | 0,15 | 48,78 | 0,10 | 0,06 | 0,04 | 0,50 | 0,01 | 4,82 | 0,44 | 101,20 |
| Y-66/2 | 43,96 | 0,01 | 0,28 | 1,53 | 5,80 | 0,13 | 40,41 | 0,10 | 0,10 | 0,05 | 0,31 | 0,01 | 6,66 | 4,40 | 103,75 |
| Y-71/2 | 40,56 | 0,01 | 0,34 | 3,39 | 5,02 | 0,16 | 43,75 | 0,84 | 0,08 | 0,05 | 0,29 | 0,01 | 4,90 | 0,44 | 99,84 |
| Y-71/3 | 39,74 | 0,01 | 0,31 | 3,63 | 4,52 | 0,24 | 45,82 | 0,10 | 0,04 | 0,06 | 0,33 | 0,01 | 4,84 | 0,44 | 100,09 |
| Y-91/1 | 38,20 | 0,01 | 0,18 | 3,67 | 4,99 | 0,17 | 46,12 | 0,10 | 0,05 | 0,03 | 0,45 | 0,01 | 6,10 | 0,44 | 100,52 |
| Y-92/1 | 37,52 | 0,01 | 0,30 | 5,31 | 3,50 | 0,16 | 45,62 | 0,42 | 0,08 | 0,05 | 0,66 | 0,01 | 5,56 | 0,66 | 99,86 |
| Y-102/1 | 41,40 | 0,01 | 0,32 | 2,95 | 5,13 | 0,16 | 47,20 | 0,14 | 0,03 | 0,05 | 0,27 | 0,01 | 2,30 | 0,40 | 100,37 |
| Y-102/2 | 38,46 | 0,01 | 0,16 | 4,65 | 4,03 | 0,14 | 45,62 | 0,10 | 0,05 | 0,05 | 0,54 | 0,01 | 6,52 | 0,44 | 100,78 |
| Y-118/1 | 44,42 | 0,01 | 0,44 | 3,21 | 4,28 | 0,11 | 45,62 | 0,10 | 0,05 | 0,05 | 0,33 | 0,01 | 1,02 | 0,40 | 100,05 |
| Y-121/1 | 54,08 | 0,03 | 1,35 | 2,37 | 4,71 | 0,21 | 23,75 | 9,99 | 1,17 | 0,12 | 0,25 | 0,01 | 1,72 | 0,40 | 100,16 |
| Y-122/1 | 42,50 | 0,03 | 0,37 | 3,12 | 5,27 | 0,15 | 44,15 | 0,10 | 0,05 | 0,05 | 0,30 | 0,01 | 3,72 | 0,66 | 100,48 |
| Y-135/1 | 40,82 | 0,01 | 0,15 | 2,63 | 6,25 | 0,14 | 46,30 | 0,14 | 0,06 | 0,04 | 0,37 | 0,01 | 2,26 | 0,66 | 99,84 |
| Y-137/1 | 40,98 | 0,01 | 0,24 | 4,42 | 4,42 | 0,16 | 42,37 | 0,10 | 0,05 | 0,04 | 0,38 | 0,01 | 6,04 | 0,44 | 99,66 |
| Y-137/2 | 37,46 | 0,01 | 0,13 | 3,97 | 4,29 | 0,16 | 46,51 | 0,10 | 0,02 | 0,05 | 0,37 | 0,01 | 6,46 | 0,66 | 100,20 |
| Y-137/3 | 52,12 | 0,03 | 0,87 | 2,38 | 4,60 | 0,15 | 34,58 | 0,14 | 0,08 | 0,02 | 0,46 | 0,01 | 4,14 | 0,40 | 99,98 |
| Y-139/2 | 38,98 | 0,03 | 0,38 | 2,89 | 4,16 | 0,13 | 43,75 | 0,14 | 0,04 | 0,02 | 0,32 | 0,01 | 8,62 | 0,44 | 99,91 |

Продолжение прилож. 3

| № обр. | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | FeO | MnO | MgO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | Cr ₂ O ₃ | P ₂ O ₅ | П.п.п. | CO ₂ | Сумма |
|--------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|-------|------|-------------------|------------------|--------------------------------|-------------------------------|--------|-----------------|--------|
| Y-4063 | 37,62 | 0,02 | 0,38 | 4,6 | 3,68 | 0,15 | 44,83 | 0,10 | 0,03 | 0,01 | 0,37 | 0,01 | 9,28 | 0,44 | 100,92 |
| Y-4064 | 38,74 | 0,01 | 0,34 | 4,04 | 3,75 | 0,13 | 44,83 | 0,10 | 0,03 | 0,01 | 0,38 | 0,01 | 8,6 | 0,66 | 100,86 |
| Y-4065 | 37,96 | 0,01 | 0,32 | 3,34 | 4,31 | 0,14 | 46,9 | 0,10 | 0,03 | 0,01 | 0,38 | 0,01 | 7,34 | 0,44 | 100,74 |
| Y-4066 | 38,2 | 0,02 | 0,46 | 4,83 | 3,4 | 0,14 | 43,46 | 0,10 | 0,03 | 0,01 | 0,39 | 0,01 | 9,16 | 0,44 | 100,8 |
| Y-4067 | 38,04 | 0,01 | 0,22 | 4,13 | 4,17 | 0,15 | 45,36 | 0,10 | 0,03 | 0,01 | 0,28 | 0,01 | 8,52 | 0,66 | 100,92 |
| Y-4068 | 40,64 | 0,05 | 0,48 | 3,52 | 4,65 | 0,15 | 44,32 | 0,10 | 0,02 | 0,01 | 0,38 | 0,01 | 6,76 | 0,88 | 100,98 |
| Y-4070 | 38,54 | 0,01 | 0,41 | 3,96 | 3,82 | 0,13 | 44,5 | 0,10 | 0,03 | 0,01 | 0,43 | 0,01 | 9,1 | 0,44 | 100,94 |
| Y-4072 | 39,26 | 0,01 | 0,38 | 4,08 | 2,71 | 0,13 | 44,15 | 0,10 | 0,03 | 0,01 | 0,53 | 0,01 | 9,46 | 1,32 | 100,75 |
| Y-4079 | 36,84 | 0,02 | 2,2 | 3,12 | 0,9 | 0,12 | 43,29 | 0,10 | 0,03 | 0,01 | 0,46 | 0,01 | 14 | 0,4 | 100,99 |
| Y-4080 | 39,00 | 0,01 | 0,44 | 4,51 | 3,47 | 0,12 | 43,47 | 0,10 | 0,04 | 0,01 | 0,43 | 0,01 | 9,48 | 0,88 | 100,98 |
| Y-4081 | 41,02 | 0,02 | 0,66 | 3,6 | 4,51 | 0,13 | 43,8 | 0,10 | 0,04 | 0,01 | 0,45 | 0,01 | 6,06 | 0,4 | 100,3 |
| Y-4082 | 36,52 | 0,02 | 0,21 | 4,91 | 3,47 | 0,13 | 45,18 | 0,10 | 0,02 | 0,01 | 0,57 | 0,01 | 9,94 | 0,66 | 100,98 |
| Y-4083 | 39,1 | 0,01 | 0,33 | 3,99 | 4,44 | 0,14 | 45,01 | 0,10 | 0,03 | 0,01 | 0,53 | 0,01 | 7,3 | 0,66 | 100,89 |
| Y-4084 | 38,8 | 0,01 | 0,46 | 3,91 | 4,44 | 0,14 | 44,66 | 0,10 | 0,03 | 0,01 | 0,42 | 0,01 | 7,52 | 0,40 | 100,4 |
| Y-4085 | 39,62 | 0,01 | 0,35 | 4,19 | 3,54 | 0,13 | 43,12 | 0,10 | 0,02 | 0,01 | 0,39 | 0,01 | 8,62 | 0,66 | 100,00 |
| Y-4086 | 40,46 | 0,01 | 0,42 | 3,38 | 5,21 | 0,15 | 44,15 | 0,10 | 0,02 | 0,01 | 0,42 | 0,01 | 5,48 | 0,66 | 99,71 |
| Y-4087 | 41,44 | 0,01 | 0,55 | 1,84 | 5,48 | 0,13 | 46,04 | 0,10 | 0,04 | 0,03 | 0,38 | 0,01 | 4,86 | 0,40 | 100,79 |
| Y-4088 | 41,24 | 0,01 | 0,53 | 3,09 | 4,93 | 0,15 | 44,91 | 0,10 | 0,04 | 0,01 | 0,39 | 0,01 | 4,46 | 0,44 | 99,76 |
| Y-4089 | 41,92 | 0,01 | 0,67 | 2,69 | 4,68 | 0,13 | 44,3 | 0,1 | 0,04 | 0,01 | 0,37 | 0,01 | 5,48 | 0,66 | 100,3 |
| Y-4090 | 39,52 | 0,01 | 0,27 | 2,87 | 4,44 | 0,13 | 46,96 | 0,1 | 0,09 | 0,06 | 0,51 | 0,01 | 5,52 | 0,4 | 100,42 |
| Y-4091 | 34,88 | 0,01 | 0,15 | 5,62 | 2,22 | 0,13 | 44,6 | 0,1 | 0,04 | 0,01 | 0,39 | 0,01 | 12,7 | 0,66 | 100,75 |
| Y-4092 | 36,04 | 0,01 | 0,45 | 4,36 | 2,81 | 0,13 | 44,71 | 0,1 | 0,03 | 0,02 | 0,39 | 0,01 | 10,96 | 0,4 | 99,91 |
| Y-4094 | 39,56 | 0,01 | 0,26 | 4,4 | 3,89 | 0,13 | 45,64 | 0,1 | 0,03 | 0,02 | 0,43 | 0,01 | 6,36 | 0,44 | 100,73 |
| Y-4095 | 36,76 | 0,01 | 0,25 | 5,43 | 3,58 | 0,15 | 45,73 | 0,1 | 0,03 | 0,01 | 0,96 | 0,01 | 7,22 | 0,66 | 100,13 |
| Y-4096 | 40,56 | 0,01 | 0,37 | 5,11 | 3,4 | 0,14 | 45,12 | 0,1 | 0,03 | 0,01 | 0,39 | 0,01 | 5,68 | 0,4 | 100,82 |
| Y-4097 | 40,7 | 0,01 | 0,55 | 3,54 | 4,31 | 0,13 | 44,3 | 0,1 | 0,03 | 0,01 | 0,35 | 0,01 | 6,1 | 0,4 | 100,03 |
| Y-4098 | 38,4 | 0,01 | 0,76 | 3,53 | 4,1 | 0,13 | 45,53 | 0,28 | 0,1 | 0,05 | 0,35 | 0,01 | 7,12 | 0,44 | 100,35 |
| Y-5731 | 41,42 | 0,02 | 0,77 | 3,22 | 5,18 | 0,10 | 43,53 | 0,68 | 0,00 | 0,00 | 0,51 | 0,00 | 4,51 | 0,00 | 100,19 |

| № обр. | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | FeO | MnO | MgO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | Cr ₂ O ₃ | P ₂ O ₅ | П.п.п. | CO ₂ | Сумма |
|--------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|-------|------|-------------------|------------------|--------------------------------|-------------------------------|--------|-----------------|--------|
| Y-5732 | 40,46 | 0,02 | 0,64 | 3,34 | 4,44 | 0,09 | 43,75 | 0,81 | 0,00 | 0,00 | 0,46 | 0,00 | 5,83 | 0,12 | 100,24 |
| Y-5734 | 38,44 | 0,03 | 0,50 | 4,20 | 4,58 | 0,10 | 45,40 | 0,22 | 0,00 | 0,00 | 0,62 | 0,00 | 5,60 | 0,12 | 100,12 |
| Y-5735 | 41,64 | 0,02 | 0,77 | 3,23 | 4,73 | 0,11 | 43,00 | 0,69 | 0,00 | 0,00 | 0,43 | 0,00 | 5,03 | 0,00 | 99,91 |
| Y-5736 | 39,32 | 0,02 | 0,38 | 2,41 | 5,62 | 0,12 | 46,16 | 0,48 | 0,00 | 0,00 | 0,36 | 0,00 | 4,58 | 0,00 | 99,71 |
| Y-5738 | 40,46 | 0,02 | 0,77 | 3,88 | 4,00 | 0,10 | 42,53 | 0,93 | 0,00 | 0,00 | 0,40 | 0,00 | 6,60 | 0,12 | 100,09 |
| Y-5739 | 40,50 | 0,02 | 0,51 | 3,48 | 4,29 | 0,11 | 44,90 | 0,18 | 0,00 | 0,00 | 0,50 | 0,00 | 4,87 | 0,00 | 99,68 |
| Y-5740 | 44,22 | 0,02 | 0,90 | 4,23 | 4,14 | 0,12 | 42,70 | 0,74 | 0,00 | 0,00 | 0,42 | 0,00 | 2,19 | 0,00 | 99,97 |
| Y-5742 | 40,28 | 0,02 | 0,51 | 3,55 | 4,73 | 0,10 | 44,85 | 0,29 | 0,00 | 0,00 | 0,45 | 0,00 | 4,48 | 0,00 | 99,58 |
| Y-5743 | 41,50 | 0,02 | 0,77 | 4,50 | 3,10 | 0,10 | 44,15 | 0,64 | 0,00 | 0,00 | 0,40 | 0,00 | 4,56 | 0,00 | 100,05 |
| Y-5744 | 40,40 | 0,02 | 0,77 | 3,39 | 3,85 | 0,10 | 44,15 | 0,40 | 0,00 | 0,00 | 0,34 | 0,00 | 6,50 | 0,00 | 100,21 |
| Y-5745 | 41,38 | 0,02 | 0,64 | 3,51 | 4,59 | 0,11 | 43,95 | 0,43 | 0,00 | 0,00 | 0,45 | 0,00 | 4,60 | 0,00 | 99,97 |
| Y-5746 | 41,14 | 0,02 | 0,77 | 3,73 | 3,85 | 0,11 | 44,25 | 0,52 | 0,00 | 0,00 | 0,52 | 0,00 | 4,82 | 0,00 | 100,02 |
| Y-5747 | 40,08 | 0,02 | 0,77 | 2,77 | 4,88 | 0,12 | 45,76 | 0,20 | 0,00 | 0,00 | 0,47 | 0,00 | 4,46 | 0,00 | 99,84 |
| Y-5748 | 43,16 | 0,02 | 0,77 | 3,43 | 4,73 | 0,11 | 44,95 | 0,25 | 0,00 | 0,00 | 0,63 | 0,00 | 1,70 | 0,00 | 100,03 |
| Y-5749 | 39,98 | 0,02 | 0,51 | 5,18 | 4,44 | 0,11 | 44,45 | 0,24 | 0,00 | 0,00 | 0,60 | 0,00 | 5,25 | 0,00 | 101,09 |
| Y-5750 | 41,98 | 0,02 | 0,64 | 3,03 | 4,59 | 0,11 | 44,55 | 0,34 | 0,00 | 0,00 | 0,42 | 0,00 | 4,08 | 0,00 | 100,04 |
| Y-5751 | 40,10 | 0,02 | 0,64 | 3,22 | 4,22 | 0,10 | 46,06 | 0,29 | 0,00 | 0,00 | 0,52 | 0,00 | 4,43 | 0,00 | 99,89 |
| Y-5752 | 39,92 | 0,02 | 0,51 | 2,91 | 4,81 | 0,11 | 46,22 | 0,35 | 0,00 | 0,00 | 0,79 | 0,00 | 3,74 | 0,00 | 99,69 |
| Y-5753 | 41,38 | 0,03 | 0,64 | 2,17 | 4,73 | 0,09 | 46,87 | 0,12 | 0,00 | 0,00 | 0,35 | 0,00 | 3,31 | 0,00 | 99,98 |
| Y-5759 | 39,50 | 0,02 | 0,51 | 2,65 | 3,85 | 0,10 | 47,27 | 0,32 | 0,00 | 0,00 | 0,52 | 0,00 | 4,84 | 0,00 | 99,89 |
| Y-5760 | 39,72 | 0,03 | 0,51 | 2,95 | 4,59 | 0,10 | 46,47 | 0,31 | 0,00 | 0,00 | 0,40 | 0,00 | 4,74 | 0,12 | 100,23 |
| Y-5761 | 38,30 | 0,03 | 0,67 | 4,65 | 3,53 | 0,10 | 43,74 | 0,15 | 0,00 | 0,00 | 1,29 | 0,00 | 7,24 | 0,00 | 99,99 |
| Y-5762 | 40,64 | 0,02 | 0,51 | 4,25 | 3,85 | 0,12 | 43,65 | 0,41 | 0,00 | 0,00 | 0,66 | 0,00 | 5,12 | 0,00 | 99,5 |
| Y-5766 | 41,66 | 0,02 | 0,51 | 1,92 | 6,44 | 0,13 | 46,16 | 0,33 | 0,00 | 0,00 | 0,50 | 0,00 | 1,87 | 0,00 | 99,82 |
| Y-5767 | 42,88 | 0,02 | 0,77 | 2,63 | 5,62 | 0,11 | 44,05 | 0,61 | 0,00 | 0,00 | 0,42 | 0,00 | 2,40 | 0,00 | 99,78 |
| Y-5768 | 39,98 | 0,02 | 0,77 | 0,67 | 5,92 | 0,08 | 46,52 | 0,26 | 0,00 | 0,00 | 0,97 | 0,00 | 6,00 | 0,00 | 101,47 |
| Y-5769 | 41,20 | 0,05 | 1,67 | 2,09 | 5,55 | 0,10 | 40,62 | 1,55 | 0,00 | 0,00 | 0,34 | 0,00 | 6,80 | 0,12 | 100,34 |

Продолжение прилож. 3

| № обр. | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | FeO | MnO | MgO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | Cr ₂ O ₃ | P ₂ O ₅ | П.пл. | CO ₂ | Сумма |
|--------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|-------|------|-------------------|------------------|--------------------------------|-------------------------------|-------|-----------------|--------|
| Y-5770 | 42,94 | 0,02 | 0,77 | 0,60 | 7,10 | 0,11 | 45,06 | 0,87 | 0,00 | 0,00 | 0,34 | 0,00 | 1,72 | 0,00 | 99,82 |
| Y-5771 | 42,25 | 0,05 | 1,67 | 1,71 | 5,92 | 0,11 | 41,32 | 1,66 | 0,00 | 0,00 | 0,40 | 0,00 | 4,70 | 0,00 | 100,04 |
| Y-5772 | 39,06 | 0,04 | 0,51 | 2,24 | 6,58 | 0,12 | 46,77 | 0,21 | 0,00 | 0,00 | 0,53 | 0,00 | 3,77 | 0,00 | 100,1 |
| Y-5773 | 42,86 | 0,02 | 0,77 | 1,22 | 6,51 | 0,11 | 45,06 | 0,61 | 0,00 | 0,00 | 0,34 | 0,00 | 2,27 | 0,00 | 100,02 |
| Y-5774 | 39,80 | 0,02 | 0,38 | 1,89 | 6,73 | 0,12 | 47,80 | 0,27 | 0,00 | 0,00 | 0,54 | 0,00 | 2,60 | 0,00 | 100,38 |
| Y-5775 | 40,06 | 0,02 | 0,51 | 2,15 | 6,14 | 0,12 | 47,27 | 0,34 | 0,00 | 0,00 | 0,83 | 0,00 | 2,25 | 0,00 | 99,88 |
| Y-5776 | 39,82 | 0,02 | 0,51 | 2,32 | 6,44 | 0,13 | 46,67 | 0,28 | 0,00 | 0,00 | 0,57 | 0,00 | 3,03 | 0,12 | 100,09 |
| Y-5785 | 39,60 | 0,02 | 0,64 | 2,32 | 5,62 | 0,11 | 47,07 | 0,26 | 0,00 | 0,00 | 0,60 | 0,00 | 3,28 | 0,00 | 99,72 |
| Y-5786 | 39,32 | 0,02 | 0,51 | 1,74 | 7,03 | 0,13 | 47,70 | 0,22 | 0,00 | 0,00 | 0,60 | 0,00 | 2,00 | 0,00 | 99,55 |
| Y-5787 | 38,82 | 0,02 | 0,46 | 2,04 | 6,80 | 0,14 | 47,38 | 0,26 | 0,00 | 0,00 | 0,78 | 0,00 | 3,30 | 0,48 | 100,69 |
| Y-5965 | 39,42 | 0,02 | 0,50 | 1,93 | 6,80 | 0,13 | 47,00 | 0,35 | 0,00 | 0,00 | 0,73 | 0,00 | 2,76 | 0,30 | 100,13 |
| Y-5967 | 38,84 | 0,02 | 0,42 | 3,45 | 4,44 | 0,13 | 46,32 | 0,26 | 0,00 | 0,00 | 0,40 | 0,00 | 5,29 | 0,65 | 100,54 |
| Y-5968 | 36,4 | 0,01 | 0,54 | 4,9 | 3,88 | 0,15 | 46,55 | 0,1 | 0,1 | 0,05 | 1,14 | 0,01 | 6,16 | 0,44 | 99,87 |
| Y-5969 | 37,96 | 0,01 | 0,51 | 3,47 | 4,37 | 0,15 | 47,17 | 0,1 | 0,08 | 0,05 | 0,96 | 0,01 | 4,56 | 0,44 | 99,28 |
| Y-5970 | 37,04 | 0,01 | 0,45 | 3,62 | 3,88 | 0,13 | 47,17 | 0,1 | 0,08 | 0,05 | 1,06 | 0,01 | 5,92 | 0,44 | 99,4 |
| Y-5972 | 37,14 | 0,01 | 0,32 | 4,36 | 2,92 | 0,13 | 45,73 | 0,1 | 0,13 | 0,07 | 0,56 | 0,01 | 7,88 | 0,4 | 99,24 |
| Y-5973 | 37,24 | 0,01 | 0,42 | 3,3 | 3,95 | 0,13 | 47,37 | 0,1 | 0,08 | 0,07 | 0,93 | 0,01 | 5,58 | 0,66 | 99,07 |
| Y-5974 | 27,76 | 0,08 | 3,59 | 9,06 | 2,43 | 0,12 | 37,44 | 0,28 | 0,14 | 0,09 | 13,93 | 0,01 | 5,42 | 0,4 | 100,34 |
| Y-5981 | 37,3 | 0,01 | 0,34 | 3,46 | 4,17 | 0,14 | 46,76 | 0,1 | 0,08 | 0,04 | 0,58 | 0,01 | 6,5 | 0,66 | 99,37 |
| Y-5982 | 36,78 | 0,01 | 0,42 | 3,31 | 4,3 | 0,14 | 46,97 | 0,1 | 0,08 | 0,04 | 0,78 | 0,01 | 6,72 | 0,66 | 99,54 |
| Y-5988 | 36,2 | 0,01 | 0,36 | 3,93 | 4,1 | 0,15 | 46,15 | 0,1 | 0,08 | 0,04 | 0,66 | 0,01 | 7,82 | 0,44 | 99,49 |
| Y-5995 | 36,64 | 0,01 | 0,6 | 4,29 | 4,86 | 0,16 | 44,92 | 0,1 | 0,1 | 0,04 | 0,8 | 0,01 | 6,68 | 0,44 | 99,09 |

| № обр. | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Cr ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | FeO | MgO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | MnO | П.пл. | Сумма |
|-----------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|-------|------|-------------------|------------------|------|-------|--------|
| Y-1304/1 | 38,70 | 0,02 | 0,40 | 0,37 | 4,09 | 3,81 | 46,03 | 0,10 | 0,03 | 0,01 | 0,17 | 6,72 | 100,46 |
| Y-1304/3 | 38,70 | 0,02 | 0,32 | 0,31 | 4,23 | 3,32 | 45,00 | 0,10 | 0,04 | 0,01 | 0,14 | 6,80 | 99,00 |
| Y-1304/4 | 39,20 | 0,02 | 0,35 | 0,36 | 3,88 | 3,50 | 45,21 | 0,10 | 0,04 | 0,01 | 0,14 | 6,00 | 98,81 |
| Y-1304/5 | 39,82 | 0,03 | 0,33 | 0,37 | 3,90 | 3,33 | 45,31 | 0,10 | 0,05 | 0,01 | 0,13 | 6,10 | 99,49 |
| Y-1304/6 | 35,90 | 0,03 | 0,44 | 1,68 | 4,08 | 1,08 | 44,85 | 0,10 | 0,04 | 0,01 | 0,13 | 10,50 | 98,85 |
| Y-1304/8 | 35,46 | 0,01 | 0,32 | 5,06 | 3,16 | 1,53 | 45,03 | 0,10 | 0,01 | 0,01 | 0,07 | 8,68 | 99,45 |
| Y-1304/12 | 35,32 | 0,01 | 0,14 | 0,25 | 3,74 | 2,50 | 46,97 | 0,10 | 0,02 | 0,01 | 0,12 | 10,24 | 99,43 |
| Y-1304/15 | 37,68 | 0,03 | 0,35 | 0,40 | 4,60 | 1,73 | 44,64 | 0,10 | 0,02 | 0,01 | 0,11 | 10,40 | 100,08 |
| Y-1306/1 | 38,02 | 0,06 | 0,46 | 0,29 | 4,38 | 2,43 | 45,03 | 0,10 | 0,04 | 0,01 | 0,12 | 8,76 | 99,71 |
| Y-1306/2 | 38,72 | 0,05 | 0,46 | 0,35 | 3,93 | 2,84 | 44,06 | 0,10 | 0,06 | 0,01 | 0,13 | 8,46 | 99,18 |
| Y-1325/1 | 38,42 | 0,02 | 0,33 | 0,55 | 4,46 | 4,02 | 44,06 | 0,10 | 0,03 | 0,01 | 0,15 | 7,54 | 99,70 |
| Y-1325/2 | 39,22 | 0,06 | 0,65 | 0,28 | 4,75 | 3,40 | 42,89 | 0,10 | 0,02 | 0,01 | 0,14 | 7,90 | 99,43 |
| Y-1327/1 | 35,76 | 0,18 | 0,69 | 0,30 | 4,69 | 3,81 | 44,25 | 0,10 | 0,03 | 0,01 | 0,14 | 9,90 | 99,87 |
| Y-1329/1 | 35,60 | 0,06 | 0,24 | 0,42 | 5,54 | 3,19 | 43,87 | 0,10 | 0,01 | 0,01 | 0,15 | 11,04 | 100,24 |
| Y-1329/2 | 40,00 | 0,05 | 0,56 | 0,29 | 4,01 | 3,05 | 42,70 | 0,10 | 0,03 | 0,01 | 0,15 | 8,54 | 99,50 |
| Y-1330/1 | 37,70 | 0,03 | 0,73 | 0,33 | 4,89 | 2,77 | 44,06 | 0,10 | 0,02 | 0,01 | 0,13 | 10,00 | 100,78 |
| Y-1330/2 | 37,80 | 0,04 | 0,33 | 0,35 | 5,13 | 3,05 | 43,48 | 0,10 | 0,03 | 0,01 | 0,15 | 9,64 | 100,12 |
| Y-1334/1 | 37,60 | 0,04 | 0,14 | 0,12 | 3,69 | 4,86 | 46,20 | 0,10 | 0,02 | 0,01 | 0,17 | 6,86 | 99,81 |
| Y-1338/1 | 39,08 | 0,03 | 0,46 | 0,38 | 4,46 | 4,16 | 43,86 | 0,28 | 0,06 | 0,01 | 0,16 | 6,52 | 99,47 |
| Y-1338/2 | 40,30 | 0,05 | 0,48 | 0,30 | 3,91 | 4,51 | 44,84 | 0,10 | 0,04 | 0,01 | 0,15 | 4,88 | 99,58 |
| Y-1341/1 | 38,36 | 0,03 | 0,26 | 0,40 | 2,41 | 4,51 | 47,84 | 0,10 | 0,02 | 0,01 | 0,14 | 5,24 | 99,33 |
| Y-1341/2 | 41,80 | 0,02 | 0,38 | 0,30 | 3,58 | 4,09 | 43,29 | 0,10 | 0,02 | 0,01 | 0,15 | 5,52 | 99,27 |
| Y-1345/1 | 39,28 | 0,06 | 0,89 | 0,29 | 3,75 | 4,30 | 43,28 | 0,56 | 0,09 | 0,01 | 0,15 | 6,76 | 99,43 |
| Y-1345/2 | 40,32 | 0,04 | 0,77 | 0,30 | 4,69 | 3,81 | 44,06 | 0,10 | 0,02 | 0,01 | 0,14 | 6,12 | 100,39 |
| Y-1347/1 | 41,00 | 0,05 | 1,02 | 0,30 | 4,39 | 4,37 | 43,87 | 0,10 | 0,08 | 0,01 | 0,15 | 5,60 | 100,95 |
| Y-1347/2 | 40,36 | 0,05 | 0,83 | 0,33 | 3,46 | 4,92 | 44,25 | 0,10 | 0,08 | 0,01 | 0,15 | 4,60 | 99,15 |

Примечание. Образцы с маркировкой РШ – месторождение Центральное; Р, Е и Т – Енгайское рудное поле; У – Юго-Западное рудное поле.

Приложение 4

Микроэлементный состав ультрамафитов (г/т)

| № обр. | РШ-4 | РШ-10 | РШ-27 | РШ-29 | РШ-30 | РШ-31 | РШ-32 | РШ-33 |
|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Li | 1,463 | 1,840 | 1,002 | 0,899 | 2,694 | 0,929 | 1,055 | 1,058 |
| Be | 0,014 | 0,007 | 0,006 | 0,003 | 0,007 | 0,003 | 0,012 | 0,003 |
| Sc | 6,284 | 6,123 | 6,079 | 5,770 | 3,756 | 5,382 | 3,618 | 5,702 |
| Ti | 28,576 | 15,430 | 29,693 | 17,569 | 18,536 | 23,464 | 16,583 | 17,149 |
| V | 22,166 | 19,828 | 25,099 | 20,948 | 12,670 | 19,222 | 15,715 | 17,403 |
| Mn | 825,679 | 874,575 | 826,986 | 844,897 | 793,997 | 837,447 | 824,906 | 735,685 |
| Co | 104,682 | 110,434 | 108,315 | 106,861 | 108,034 | 103,671 | 112,049 | 98,429 |
| Cu | 25,749 | 74,175 | 14,999 | 35,575 | 38,096 | 10,075 | 58,015 | 17,232 |
| Zn | 34,779 | 40,212 | 32,960 | 34,258 | 32,565 | 33,908 | 32,869 | 32,111 |
| Ga | 0,515 | 0,399 | 0,511 | 0,360 | 0,293 | 0,398 | 0,359 | 0,426 |
| Ge | 0,495 | 0,561 | 0,592 | 0,554 | 0,496 | 0,571 | 0,539 | 0,398 |
| Rb | 0,363 | 0,098 | 0,232 | 0,029 | 0,238 | 0,029 | 0,124 | 0,151 |
| Sr | 5,419 | 4,908 | 5,679 | 5,705 | 12,652 | 7,561 | 4,459 | 6,889 |
| Y | 0,275 | 0,024 | 0,239 | 0,022 | 0,092 | 0,021 | 0,081 | 0,121 |
| Zr | He обн. |
| Nb | 0,070 | 0,057 | 0,037 | 0,041 | 0,138 | 0,036 | 0,038 | 0,042 |
| Mo | 0,171 | 0,182 | 0,277 | 0,621 | 0,498 | 0,222 | 0,301 | 0,328 |
| Ag | 0,020 | 0,084 | 0,005 | 0,005 | 0,014 | He обн. | 0,015 | 0,005 |
| Cd | 0,017 | 0,021 | 0,005 | 0,006 | 0,010 | 0,004 | 0,006 | 0,004 |
| Sn | 0,966 | 3,808 | 0,530 | 1,146 | 1,880 | 0,737 | 1,645 | 0,993 |
| Sb | 0,049 | 0,252 | 0,031 | 0,047 | 0,079 | 0,024 | 0,064 | 0,039 |
| Te | 0,041 | 0,064 | 0,052 | 0,045 | 0,039 | 0,038 | 0,047 | 0,045 |
| Cs | 0,011 | 0,003 | 0,003 | 0,002 | 0,033 | 0,002 | 0,005 | 0,014 |
| Ba | 7,758 | 0,983 | 3,460 | 0,583 | 2,425 | 0,513 | 1,353 | 2,338 |
| La | 0,092 | 0,545 | 0,108 | 0,004 | 0,042 | 0,006 | 0,042 | 0,038 |
| Ce | 0,231 | 0,784 | 0,248 | 0,010 | 0,094 | 0,012 | 0,093 | 0,094 |
| Pr | 0,029 | 0,053 | 0,027 | 0,001 | 0,012 | 0,001 | 0,011 | 0,012 |
| Nd | 0,128 | 0,136 | 0,117 | 0,005 | 0,050 | 0,004 | 0,044 | 0,055 |
| Sm | 0,033 | 0,001 | 0,028 | 0,000 | 0,011 | 0,001 | 0,011 | 0,014 |
| Eu | 0,004 | He обн. | 0,003 | He обн. | 0,001 | He обн. | 0,002 | 0,002 |
| Gd | 0,041 | 0,003 | 0,034 | 0,001 | 0,014 | 0,001 | 0,011 | 0,019 |
| Tb | 0,006 | He обн. | 0,006 | He обн. | 0,001 | He обн. | 0,001 | 0,002 |
| Dy | 0,046 | 0,003 | 0,044 | 0,003 | 0,015 | 0,001 | 0,016 | 0,024 |
| Ho | 0,010 | 0,000 | 0,010 | He обн. | 0,003 | He обн. | 0,002 | 0,005 |
| Er | 0,034 | 0,003 | 0,032 | 0,003 | 0,012 | 0,004 | 0,011 | 0,016 |
| Tm | 0,005 | 0,000 | 0,005 | 0,000 | 0,001 | 0,000 | 0,001 | 0,002 |
| Yb | 0,046 | 0,006 | 0,041 | 0,011 | 0,019 | 0,011 | 0,016 | 0,024 |
| Lu | 0,007 | 0,001 | 0,006 | 0,002 | 0,003 | 0,003 | 0,003 | 0,004 |
| Hf | 0,004 | He обн. |
| Ta | 0,060 | 0,189 | 0,022 | 0,020 | 0,016 | 0,237 | 0,013 | 0,017 |
| W | 0,070 | 0,086 | 0,303 | 1,255 | 0,757 | 0,323 | 0,550 | 0,121 |
| Tl | 0,007 | 0,018 | 0,001 | He обн. | 0,002 | He обн. | 0,000 | 0,001 |
| Pb | 1,367 | 5,531 | 0,827 | 1,525 | 2,530 | 0,731 | 2,174 | 1,284 |
| Bi | He обн. |
| Th | 0,024 | 0,003 | 0,014 | 0,000 | 0,007 | He обн. | 0,007 | 0,008 |
| U | 0,009 | 0,017 | 0,008 | 0,005 | 0,013 | 0,005 | 0,010 | 0,006 |

Продолжение прилож. 4

| № обр. | РШ-34 | РШ-36 | РШ-38 | РШ-39 | РШ-42 | РШ-43 | РШ-44 |
|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Li | 0,865 | 3,791 | 0,461 | 0,794 | 1,367 | 0,997 | 1,080 |
| Be | 0,005 | 0,010 | 0,009 | 0,015 | 0,008 | 0,022 | 0,004 |
| Sc | 6,051 | 4,123 | 4,421 | 5,418 | 4,723 | 5,200 | 5,379 |
| Ti | 14,774 | 13,230 | 11,416 | 30,314 | 8,297 | 30,537 | 17,033 |
| V | 21,191 | 16,446 | 15,451 | 23,186 | 15,661 | 19,072 | 15,757 |
| Mn | 770,616 | 763,585 | 637,339 | 799,347 | 750,995 | 809,167 | 722,444 |
| Co | 95,347 | 96,862 | 83,555 | 102,612 | 98,824 | 100,135 | 92,061 |
| Cu | 18,762 | 25,169 | 23,952 | 28,603 | 5,708 | 15,884 | 6,586 |
| Zn | 30,382 | 34,426 | 26,968 | 32,747 | 27,766 | 32,597 | 28,310 |
| Ga | 0,419 | 0,303 | 0,286 | 0,496 | 0,271 | 0,418 | 0,311 |
| Ge | 0,411 | 0,406 | 0,406 | 0,534 | 0,553 | 0,495 | 0,480 |
| Rb | 0,033 | 0,236 | 0,041 | 0,353 | 0,041 | 0,562 | 0,058 |
| Sr | 4,880 | 6,357 | 4,991 | 4,120 | 5,257 | 6,846 | 5,205 |
| Y | 0,022 | 0,101 | 0,019 | 0,363 | 0,010 | 0,307 | 0,016 |
| Zr | He обн. | 0,802 | He обн. |
| Nb | 0,014 | 0,039 | 0,016 | 0,082 | 0,012 | 0,048 | 0,015 |
| Mo | 0,543 | 0,172 | 0,112 | 0,137 | 0,139 | 0,136 | 0,127 |
| Ag | 0,001 | 0,004 | 0,003 | 0,015 | 0,011 | 0,008 | 0,004 |
| Cd | He обн. | 0,009 | 0,007 | 0,010 | 0,008 | 0,014 | 0,011 |
| Sn | 0,819 | 1,741 | 1,425 | 1,441 | 0,202 | 0,834 | 0,601 |
| Sb | 0,054 | 0,066 | 0,052 | 0,046 | 0,028 | 0,037 | 0,036 |
| Te | 0,035 | 0,039 | 0,039 | 0,031 | 0,054 | 0,025 | 0,035 |
| Cs | 0,005 | 0,036 | 0,010 | 0,004 | 0,001 | 0,040 | 0,006 |
| Ba | 0,478 | 2,367 | 0,263 | 5,544 | 0,219 | 7,766 | 0,455 |
| La | 0,010 | 0,048 | 0,027 | 0,112 | 0,015 | 0,157 | 0,019 |
| Ce | 0,027 | 0,104 | 0,065 | 0,285 | 0,027 | 0,370 | 0,056 |
| Pr | 0,002 | 0,012 | 0,003 | 0,038 | 0,002 | 0,048 | 0,003 |
| Nd | 0,009 | 0,050 | 0,010 | 0,176 | 0,008 | 0,203 | 0,013 |
| Sm | 0,001 | 0,013 | 0,000 | 0,049 | 0,001 | 0,049 | 0,001 |
| Eu | He обн. | 0,001 | He обн. | 0,008 | He обн. | 0,010 | He обн. |
| Gd | 0,002 | 0,016 | He обн. | 0,053 | 0,000 | 0,051 | 0,002 |
| Tb | He обн. | 0,002 | He обн. | 0,009 | He обн. | 0,007 | He обн. |
| Dy | 0,002 | 0,022 | 0,001 | 0,068 | 0,000 | 0,060 | 0,002 |
| Ho | He обн. | 0,003 | 0,000 | 0,016 | He обн. | 0,013 | He обн. |
| Er | 0,005 | 0,013 | 0,003 | 0,046 | 0,000 | 0,040 | 0,001 |
| Tm | 0,000 | 0,001 | He обн. | 0,008 | He обн. | 0,006 | He обн. |
| Yb | 0,015 | 0,018 | 0,009 | 0,057 | 0,004 | 0,046 | 0,009 |
| Lu | 0,003 | 0,003 | 0,002 | 0,009 | 0,001 | 0,007 | 0,001 |
| Hf | He обн. | 0,024 | He обн. |
| Ta | 0,012 | 0,014 | 0,008 | 0,013 | 0,016 | 0,028 | 0,013 |
| W | 0,597 | 0,060 | 0,012 | 0,083 | 0,071 | 0,076 | 0,056 |
| Tl | He обн. | 0,001 | He обн. | 0,004 | 0,002 | 0,005 | 0,002 |
| Pb | 1,130 | 2,275 | 2,930 | 2,111 | 0,463 | 1,269 | 0,504 |
| Bi | He обн. | He обн. | He обн. | 0,023 | He обн. | He обн. | He обн. |
| Th | He обн. | 0,017 | He обн. | 0,023 | He обн. | 0,024 | He обн. |
| U | 0,004 | 0,011 | 0,003 | 0,012 | 0,006 | 0,017 | 0,003 |

Продолжение прилож. 4

| № обр. | P-4025/10 | P-4025/14 | P-4025/16 | P-4025/17 | P-4000/16 | P-4000/19 | P-4000/24 | E-2012/8 |
|--------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|
| Li | 1,198 | 1,023 | 1,017 | 0,887 | 0,821 | 0,825 | 0,648 | 2,311 |
| Be | 0,023 | 0,024 | 0,020 | 0,013 | 0,007 | 0,007 | 0,007 | 0,013 |
| Sc | 5,311 | 4,514 | 4,236 | 5,332 | 4,188 | 4,374 | 4,641 | 6,461 |
| Ti | 41,899 | 61,252 | 38,685 | 58,605 | 64,192 | 157,486 | 291,439 | 57,176 |
| V | 11,592 | 16,202 | 10,069 | 32,059 | 28,966 | 79,966 | 187,415 | 18,706 |
| Mn | 785,576 | 764,385 | 807,251 | 803,787 | 700,922 | 787,885 | 805,286 | 800,648 |
| Co | 115,797 | 119,931 | 123,949 | 115,089 | 113,504 | 128,689 | 138,494 | 125,453 |
| Cu | 12,620 | 6,988 | 2,605 | 6,250 | 8,254 | 6,052 | 8,674 | 17,003 |
| Zn | 46,733 | 58,509 | 37,143 | 46,843 | 48,100 | 82,581 | 105,154 | 45,362 |
| Ga | 0,502 | 0,551 | 0,438 | 0,833 | 0,878 | 2,718 | 5,399 | 0,484 |
| Ge | 0,875 | 1,024 | 1,006 | 0,955 | 0,956 | 0,863 | 0,787 | 0,880 |
| Rb | 1,141 | 1,141 | 1,002 | 0,445 | 0,265 | 0,252 | 0,222 | 0,424 |
| Sr | 1,767 | 2,312 | 1,232 | 2,578 | 0,950 | 1,770 | 0,775 | 3,208 |
| Y | 0,958 | 0,928 | 0,810 | 0,412 | 0,271 | 0,248 | 0,140 | 0,353 |
| Zr | 4,323 | 5,320 | 3,501 | 1,708 | 0,935 | 0,905 | 0,662 | 1,296 |
| Nb | 0,147 | 0,170 | 0,135 | 0,144 | 0,081 | 0,139 | 0,238 | 0,171 |
| Mo | 0,029 | 0,056 | 0,068 | 0,083 | 0,100 | 0,177 | 0,039 | 0,114 |
| Sn | 0,586 | 0,418 | 0,069 | 0,069 | 0,385 | 0,183 | 0,219 | 0,294 |
| Sb | 0,050 | 0,043 | 0,023 | 0,042 | 0,054 | 0,032 | 0,092 | 0,049 |
| Cs | 0,011 | 0,012 | 0,013 | 0,015 | 0,012 | 0,014 | 0,016 | 0,039 |
| La | 0,318 | 0,359 | 0,303 | 0,163 | 0,135 | 0,143 | 0,137 | 0,267 |
| Ce | 0,789 | 0,774 | 0,706 | 0,377 | 0,301 | 0,298 | 0,250 | 0,514 |
| Pr | 0,098 | 0,094 | 0,084 | 0,045 | 0,038 | 0,034 | 0,028 | 0,058 |
| Nd | 0,418 | 0,418 | 0,357 | 0,188 | 0,162 | 0,148 | 0,105 | 0,214 |
| Sm | 0,112 | 0,105 | 0,092 | 0,053 | 0,036 | 0,033 | 0,023 | 0,046 |
| Eu | 0,028 | 0,027 | 0,025 | 0,012 | 0,009 | 0,006 | 0,003 | 0,012 |
| Gd | 0,118 | 0,102 | 0,090 | 0,044 | 0,028 | 0,029 | 0,018 | 0,043 |
| Gd | 0,165 | 0,154 | 0,133 | 0,069 | 0,051 | 0,043 | 0,030 | 0,069 |
| Tb | 0,027 | 0,025 | 0,022 | 0,013 | 0,008 | 0,008 | 0,005 | 0,010 |
| Tb | 0,023 | 0,019 | 0,019 | 0,010 | 0,007 | 0,006 | 0,004 | 0,007 |
| Dy | 0,158 | 0,154 | 0,130 | 0,072 | 0,051 | 0,043 | 0,026 | 0,055 |
| Ho | 0,037 | 0,035 | 0,030 | 0,016 | 0,012 | 0,010 | 0,006 | 0,015 |
| Er | 0,106 | 0,108 | 0,090 | 0,052 | 0,034 | 0,027 | 0,017 | 0,045 |
| Tm | 0,018 | 0,016 | 0,014 | 0,008 | 0,006 | 0,005 | 0,004 | 0,008 |
| Yb | 0,124 | 0,116 | 0,101 | 0,055 | 0,046 | 0,040 | 0,024 | 0,060 |
| Lu | 0,019 | 0,019 | 0,017 | 0,010 | 0,008 | 0,007 | 0,005 | 0,011 |
| Hf | 0,121 | 0,148 | 0,101 | 0,047 | 0,031 | 0,028 | 0,016 | 0,036 |
| Ta | 0,013 | 0,009 | 0,068 | 0,014 | 0,003 | 0,001 | 0,001 | 0,006 |
| W | 0,048 | 0,088 | 0,059 | 0,127 | 0,493 | 0,837 | 0,399 | 0,944 |
| Tl | 0,027 | 0,035 | 0,020 | 0,040 | 0,004 | 0,007 | 0,002 | 0,038 |
| Pb | 0,418 | 0,379 | 0,222 | 0,235 | 0,574 | 0,570 | 0,410 | 0,785 |
| Th | 0,081 | 0,081 | 0,067 | 0,032 | 0,024 | 0,029 | 0,017 | 0,049 |
| U | 0,044 | 0,040 | 0,033 | 0,019 | 0,013 | 0,015 | 0,018 | 0,024 |

Окончание прилож. 4

| № обр. | E-75/1 | E-78/2 | E-79/1 | E-136/1 | E-136/2 | E-146/2 | E-625/1 | E-644/1 |
|--------|---------|---------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Li | 1,062 | 2,070 | 0,810 | 0,716 | 1,240 | 0,370 | 0,978 | 0,614 |
| Be | He обн. | He обн. | He обн. | He обн. | 0,060 | He обн. | He обн. | He обн. |
| Sc | 2,999 | 5,150 | 2,720 | 2,352 | 34,499 | 2,447 | 2,721 | 2,827 |
| Ti | 19,544 | 25,865 | 26,356 | 10,142 | 101,424 | 14,667 | 61,525 | 82,515 |
| V | 12,200 | 21,564 | 18,673 | 13,834 | 50,003 | 8,683 | 46,645 | 85,977 |
| Mn | 890,173 | 910,181 | 1078,033 | 842,705 | 536,728 | 814,745 | 919,449 | 815,410 |
| Co | 123,055 | 118,657 | 133,071 | 121,390 | 49,765 | 113,470 | 123,095 | 126,857 |
| Cu | 47,596 | 23,887 | 54,746 | 5,654 | 20,554 | 7,875 | 28,292 | 17,439 |
| Zn | 39,724 | 34,217 | 32,455 | 33,577 | 19,826 | 27,801 | 45,876 | 53,774 |
| Ga | 0,327 | 0,596 | 0,406 | 0,346 | 0,640 | 0,288 | 1,537 | 2,339 |
| Ge | 0,487 | 0,557 | 0,548 | 0,542 | 1,470 | 0,364 | 0,436 | 0,385 |
| As | 0,383 | 1,195 | 0,912 | 0,878 | 0,271 | 0,419 | 0,603 | 0,397 |
| Se | 0,269 | 0,383 | 0,221 | 0,195 | 0,264 | 0,162 | 0,365 | 1,295 |
| Rb | 0,046 | 0,118 | 0,069 | 0,106 | 0,225 | 0,024 | 0,178 | 0,160 |
| Sr | 0,949 | 1,637 | 1,436 | 0,945 | 17,793 | 0,485 | 9,032 | 0,698 |
| Y | 0,028 | 0,082 | 0,054 | 0,038 | 1,019 | 0,028 | 0,103 | 0,032 |
| Zr | 0,167 | 0,191 | 0,176 | 0,118 | 1,088 | 0,061 | 0,169 | 0,111 |
| Nb | 0,029 | 0,037 | 0,032 | 0,082 | 0,068 | 0,002 | 0,031 | 0,110 |
| Mo | 0,170 | 0,138 | 0,275 | 0,361 | 0,171 | 0,116 | 0,281 | 0,404 |
| Ag | 0,007 | 0,004 | 0,007 | 0,003 | 0,007 | He обн. | 0,041 | 0,003 |
| Cd | 0,008 | 0,006 | 0,006 | He обн. | 0,075 | He обн. | He обн. | 0,008 |
| Sn | 2,528 | 0,351 | 0,734 | 0,488 | 0,368 | 0,377 | 0,292 | 0,171 |
| Sb | 0,094 | 0,056 | 0,046 | 0,019 | 0,021 | 0,015 | 0,032 | 0,022 |
| Te | 0,026 | 0,027 | 0,026 | 0,012 | 0,011 | 0,022 | 0,045 | 0,028 |
| Cs | 0,004 | 0,024 | 0,010 | 0,025 | 0,014 | 0,001 | 0,010 | 0,001 |
| Ba | 0,254 | 0,474 | 0,278 | 0,427 | 1,112 | 0,792 | 7,777 | 0,583 |
| La | 0,012 | 0,026 | 0,016 | 0,018 | 0,068 | 0,005 | 0,056 | 0,018 |
| Ce | 0,025 | 0,046 | 0,030 | 0,037 | 0,140 | 0,009 | 0,110 | 0,034 |
| Pr | 0,004 | 0,007 | 0,004 | 0,004 | 0,023 | 0,001 | 0,015 | 0,004 |
| Nd | 0,015 | 0,030 | 0,021 | 0,022 | 0,131 | 0,006 | 0,064 | 0,016 |
| Sm | 0,003 | 0,005 | 0,004 | 0,004 | 0,062 | 0,002 | 0,015 | 0,003 |
| Eu | 0,001 | 0,003 | 0,001 | 0,001 | 0,020 | He обн. | 0,005 | 0,001 |
| Gd | 0,002 | 0,009 | 0,007 | 0,005 | 0,110 | 0,002 | 0,016 | 0,003 |
| Tb | He обн. | 0,001 | He обн. | He обн. | 0,021 | He обн. | 0,002 | He обн. |
| Dy | 0,004 | 0,011 | 0,008 | 0,005 | 0,173 | 0,002 | 0,018 | 0,005 |
| Ho | 0,001 | 0,003 | 0,001 | 0,001 | 0,042 | 0,001 | 0,003 | He обн. |
| Er | 0,004 | 0,011 | 0,007 | 0,004 | 0,143 | 0,003 | 0,010 | 0,005 |
| Tm | 0,001 | 0,002 | 0,001 | 0,000 | 0,022 | 0,000 | 0,001 | He обн. |
| Yb | 0,009 | 0,018 | 0,010 | 0,006 | 0,150 | 0,008 | 0,013 | 0,006 |
| Lu | 0,002 | 0,003 | 0,002 | 0,001 | 0,021 | 0,002 | 0,002 | 0,001 |
| Hf | 0,002 | He обн. | 0,001 | He обн. | 0,034 | He обн. | 0,001 | He обн. |
| Ta | 0,004 | He обн. | He обн. | He обн. | He обн. | He обн. | He обн. | He обн. |
| W | 0,466 | 0,348 | 0,549 | 0,606 | 0,430 | 0,184 | 0,250 | 0,334 |
| Hg | 0,453 | 0,921 | 1,747 | 1,980 | 1,195 | 1,746 | 0,840 | 1,131 |
| Tl | 0,001 | 0,001 | He обн. | 0,001 | 0,002 | He обн. | 0,053 | 0,060 |
| Pb | 3,042 | 0,571 | 0,843 | 0,353 | 1,078 | 0,564 | 0,147 | 0,265 |
| Bi | 0,006 | 0,007 | 0,006 | 0,003 | 0,016 | 0,001 | 0,001 | 0,003 |
| Th | 0,003 | 0,003 | 0,002 | 0,002 | 0,013 | He обн. | 0,004 | 0,003 |
| U | 0,005 | 0,020 | 0,009 | 0,014 | 0,044 | 0,002 | 0,003 | 0,008 |

Приложение 5

Химический состав (мас. %) хромититов месторождения Центральное

| № обр. | MgO | Al ₂ O ₃ | SiO ₂ | P ₂ O ₅ | CaO | TiO ₂ | V ₂ O ₅ | Cr ₂ O ₃ | MnO | FeO _{сум} | П.п.п. | Сумма |
|------------|-------|--------------------------------|------------------|-------------------------------|------|------------------|-------------------------------|--------------------------------|------|--------------------|--------|-------|
| 17-625-1 | 21,09 | 7,76 | 6,66 | 0,01 | 0,28 | 0,17 | 0,05 | 47,24 | 0,26 | 11,61 | 3,70 | 98,83 |
| 17-625-2 | 24,54 | 8,53 | 8,09 | 0,01 | 0,22 | 0,16 | 0,04 | 43,48 | 0,24 | 10,56 | 3,10 | 98,98 |
| 17-625-3 | 28,63 | 5,05 | 10,60 | 0,01 | 0,19 | 0,15 | 0,03 | 38,31 | 0,24 | 9,83 | 6,35 | 99,39 |
| 17-625-4 | 23,94 | 7,45 | 7,00 | 0,01 | 0,21 | 0,16 | 0,04 | 46,76 | 0,25 | 10,91 | 2,30 | 99,04 |
| 17-625-5 | 15,59 | 10,13 | 1,90 | 0,01 | 0,27 | 0,20 | 0,04 | 55,15 | 0,29 | 14,52 | 0,30 | 98,41 |
| 17-625-6 | 16,94 | 10,00 | 3,18 | 0,01 | 0,28 | 0,19 | 0,04 | 53,19 | 0,28 | 13,63 | 0,80 | 98,55 |
| 17-625-7 | 44,20 | 1,40 | 22,32 | 0,00 | 0,21 | 0,09 | 0,01 | 16,50 | 0,15 | 4,83 | 10,19 | 99,89 |
| 17-625-1 | 31,57 | 4,70 | 16,10 | 0,03 | 0,47 | 0,12 | 0,02 | 30,35 | 0,24 | 9,26 | 6,15 | 99,01 |
| 17-625-2 | 32,68 | 2,50 | 21,37 | 0,05 | 0,19 | 0,12 | 0,02 | 28,10 | 0,22 | 8,19 | 6,05 | 99,49 |
| 17-625-3 | 37,60 | 2,10 | 20,22 | 0,08 | 0,19 | 0,10 | 0,02 | 23,70 | 0,23 | 7,83 | 7,55 | 99,62 |
| 6-615-1 | 28,69 | 5,32 | 13,05 | 0,01 | 0,20 | 0,15 | 0,02 | 37,02 | 0,24 | 11,59 | 2,80 | 99,09 |
| 6-615-2 | 30,89 | 5,53 | 13,17 | 0,01 | 0,19 | 0,14 | 0,02 | 36,37 | 0,22 | 9,43 | 3,20 | 99,17 |
| 6-620-1 | 15,30 | 10,72 | 2,54 | 0,02 | 0,23 | 0,17 | 0,04 | 53,50 | 0,30 | 15,37 | 0,14 | 98,33 |
| 83/1-625-1 | 20,48 | 5,21 | 8,70 | 0,01 | 0,19 | 0,14 | 0,03 | 49,04 | 0,28 | 12,04 | 2,60 | 98,72 |
| 83/1-625-2 | 18,39 | 8,11 | 4,50 | 0,01 | 0,19 | 0,17 | 0,03 | 50,58 | 0,28 | 13,67 | 2,90 | 98,83 |
| 83/1-625-3 | 22,30 | 6,75 | 9,02 | 0,01 | 0,18 | 0,16 | 0,03 | 46,09 | 0,26 | 11,28 | 2,90 | 98,97 |
| 83/1-625-4 | 21,80 | 6,16 | 8,77 | 0,01 | 0,27 | 0,15 | 0,03 | 46,81 | 0,27 | 11,99 | 2,80 | 99,05 |
| 83-625-1 | 26,11 | 5,18 | 11,12 | 0,01 | 0,18 | 0,15 | 0,03 | 43,32 | 0,25 | 10,27 | 2,80 | 99,42 |
| 83-625-2 | 30,53 | 2,80 | 13,92 | 0,01 | 0,19 | 0,15 | 0,02 | 37,87 | 0,25 | 9,88 | 3,64 | 99,27 |
| 3-600-01-1 | 45,22 | 1,01 | 29,63 | 0,03 | 0,24 | 0,05 | 0,01 | 6,07 | 0,18 | 9,15 | 7,36 | 98,94 |
| 3-600-01-2 | 32,06 | 3,21 | 16,11 | 0,06 | 0,20 | 0,13 | 0,02 | 34,09 | 0,22 | 9,25 | 4,04 | 99,39 |
| 3-600-01-3 | 31,10 | 4,49 | 13,39 | 0,05 | 0,19 | 0,13 | 0,03 | 35,82 | 0,24 | 10,06 | 3,77 | 99,26 |
| 3-600-01-4 | 31,69 | 5,50 | 16,56 | 0,05 | 0,19 | 0,12 | 0,02 | 31,64 | 0,22 | 8,48 | 5,17 | 99,64 |
| 3-600-01-5 | 24,71 | 7,25 | 8,95 | 0,05 | 0,19 | 0,15 | 0,03 | 43,85 | 0,25 | 11,27 | 2,42 | 99,12 |

| № обр. | MgO | Al ₂ O ₃ | SiO ₂ | P ₂ O ₅ | CaO | TiO ₂ | V ₂ O ₅ | Cr ₂ O ₃ | MnO | FeO _{сум} | П.п.п. | Сумма |
|-------------|-------|--------------------------------|------------------|-------------------------------|------|------------------|-------------------------------|--------------------------------|------|--------------------|--------|-------|
| 3-600-01-6 | 43,95 | 0,80 | 34,78 | 0,04 | 0,25 | 0,04 | 0,00 | 2,41 | 0,19 | 9,59 | 7,06 | 99,11 |
| 3-600-02-1 | 44,74 | 0,63 | 31,56 | 0,03 | 0,25 | 0,05 | 0,00 | 3,36 | 0,19 | 9,77 | 8,30 | 98,88 |
| 3-600-02-2 | 27,14 | 5,39 | 14,42 | 0,05 | 0,20 | 0,14 | 0,03 | 37,17 | 0,25 | 10,97 | 3,49 | 99,25 |
| 3-600-02-3 | 25,97 | 4,97 | 10,32 | 0,04 | 0,19 | 0,16 | 0,03 | 42,16 | 0,25 | 11,29 | 3,38 | 98,75 |
| 3-600-02-4 | 28,83 | 4,68 | 12,44 | 0,05 | 0,19 | 0,14 | 0,03 | 39,09 | 0,24 | 10,25 | 3,52 | 99,46 |
| 3-600-02-5 | 44,95 | 0,60 | 34,54 | 0,03 | 0,27 | 0,04 | 0,00 | 2,05 | 0,18 | 9,53 | 7,00 | 99,20 |
| 3-600-03-1 | 44,16 | 0,88 | 30,15 | 0,04 | 0,24 | 0,05 | 0,01 | 6,75 | 0,17 | 8,62 | 8,49 | 99,57 |
| 3-600-03-2 | 30,71 | 4,63 | 13,34 | 0,06 | 0,19 | 0,14 | 0,02 | 36,48 | 0,24 | 9,26 | 4,08 | 99,15 |
| 3-600-03-3 | 29,35 | 5,53 | 13,12 | 0,07 | 0,19 | 0,14 | 0,03 | 36,68 | 0,24 | 10,07 | 3,74 | 99,15 |
| 3-600-03-4 | 28,29 | 4,84 | 10,73 | 0,04 | 0,19 | 0,15 | 0,03 | 40,57 | 0,25 | 10,91 | 3,20 | 99,19 |
| 3-600-03-5 | 46,32 | 0,69 | 31,28 | 0,03 | 0,24 | 0,05 | 0,01 | 3,42 | 0,18 | 9,05 | 7,92 | 99,18 |
| 8-600-01-1 | 46,45 | 0,69 | 32,33 | 0,02 | 0,24 | 0,05 | 0,00 | 3,74 | 0,17 | 8,13 | 7,40 | 99,21 |
| 8-600-01-10 | 27,17 | 5,42 | 9,72 | 0,02 | 0,19 | 0,15 | 0,03 | 41,92 | 0,24 | 11,32 | 2,60 | 98,78 |
| 8-600-01-11 | 23,68 | 6,82 | 8,84 | 0,02 | 0,18 | 0,16 | 0,03 | 45,20 | 0,25 | 11,50 | 2,10 | 98,77 |
| 8-600-01-12 | 24,28 | 7,03 | 7,46 | 0,01 | 0,19 | 0,15 | 0,03 | 46,32 | 0,26 | 12,17 | 0,81 | 98,70 |
| 8-600-01-13 | 26,02 | 6,73 | 9,37 | 0,01 | 0,19 | 0,15 | 0,03 | 43,50 | 0,24 | 11,34 | 1,57 | 99,14 |
| 8-600-01-14 | 46,07 | 0,71 | 32,85 | 0,01 | 0,24 | 0,04 | 0,00 | 2,26 | 0,19 | 9,75 | 6,92 | 99,04 |
| 8-600-01-2 | 33,46 | 3,49 | 16,07 | 0,02 | 0,20 | 0,12 | 0,02 | 32,37 | 0,22 | 9,04 | 4,10 | 99,11 |
| 8-600-01-3 | 31,62 | 4,07 | 14,58 | 0,01 | 0,21 | 0,13 | 0,02 | 35,08 | 0,23 | 9,85 | 3,30 | 99,10 |
| 8-600-01-4 | 31,07 | 3,64 | 16,24 | 0,03 | 0,21 | 0,12 | 0,01 | 33,39 | 0,24 | 10,23 | 3,60 | 98,77 |
| 8-600-01-5 | 47,14 | 0,68 | 33,85 | 0,01 | 0,25 | 0,05 | 0,00 | 4,21 | 0,16 | 7,23 | 6,10 | 99,67 |
| 8-600-01-6 | 23,25 | 5,94 | 9,28 | 0,02 | 0,19 | 0,16 | 0,02 | 45,73 | 0,27 | 12,20 | 1,80 | 98,86 |
| 8-600-01-7 | 29,55 | 5,01 | 10,50 | 0,01 | 0,19 | 0,14 | 0,03 | 40,23 | 0,23 | 10,50 | 2,50 | 98,89 |
| 8-600-01-8 | 26,37 | 6,64 | 9,15 | 0,04 | 0,18 | 0,15 | 0,03 | 43,27 | 0,24 | 11,01 | 2,20 | 99,28 |
| 8-600-01-9 | 31,79 | 4,15 | 13,80 | 0,03 | 0,20 | 0,13 | 0,02 | 35,61 | 0,23 | 9,72 | 3,74 | 99,42 |

Окончание прилож. 5

| № обр. | MgO | Al ₂ O ₃ | SiO ₂ | P ₂ O ₅ | CaO | TiO ₂ | V ₂ O ₅ | Cr ₂ O ₃ | MnO | FeO _{сум} | П.п.п. | Сумма |
|-------------|-------|--------------------------------|------------------|-------------------------------|------|------------------|-------------------------------|--------------------------------|---------|--------------------|--------|-------|
| 8-600-02-1 | 44,67 | 0,88 | 29,99 | 0,01 | 0,23 | 0,06 | 0,01 | 9,75 | 0,17 | 6,80 | 6,87 | 99,43 |
| 8-600-02-10 | 21,64 | 8,08 | 6,09 | 0,03 | 0,18 | 0,17 | 0,03 | 49,50 | 0,25 | 11,81 | 0,80 | 98,59 |
| 8-600-02-11 | 23,53 | 7,22 | 7,88 | 0,02 | 0,19 | 0,16 | 0,03 | 46,40 | 0,25 | 11,61 | 1,52 | 98,80 |
| 8-600-02-12 | 23,37 | 7,47 | 6,76 | 0,02 | 0,19 | 0,16 | 0,03 | 48,13 | 0,25 | 11,95 | 0,81 | 99,14 |
| 8-600-02-13 | 22,89 | 6,48 | 7,51 | 0,02 | 0,19 | 0,15 | 0,03 | 47,67 | 0,27 | 12,70 | 1,26 | 99,16 |
| 8-600-02-14 | 21,28 | 6,86 | 6,72 | 0,01 | 0,19 | 0,15 | 0,03 | 49,34 | 0,26 | 12,54 | 1,10 | 98,48 |
| 8-600-02-15 | 42,19 | 1,10 | 28,81 | 0,01 | 0,23 | 0,07 | 0,01 | 12,57 | 0,19 | 8,93 | 5,22 | 99,32 |
| 8-600-02-2 | 27,29 | 4,62 | 11,16 | 0,02 | 0,19 | 0,15 | 0,02 | 41,59 | 0,26 | 11,45 | 2,58 | 99,32 |
| 8-600-02-3 | 25,10 | 4,98 | 10,17 | 0,01 | 0,19 | 0,15 | 0,03 | 43,75 | 0,27 | 11,97 | 2,10 | 98,71 |
| 8-600-02-4 | 24,25 | 6,48 | 8,45 | 0,01 | 0,19 | 0,15 | 0,03 | 45,99 | 0,25 | 11,63 | 1,43 | 98,87 |
| 8-600-02-5 | 35,20 | 2,60 | 16,52 | 0,02 | 0,21 | 0,11 | 0,02 | 31,24 | 0,22 | 8,94 | 4,32 | 99,39 |
| 8-600-02-6 | 29,56 | 4,81 | 12,44 | 0,01 | 0,19 | 0,13 | 0,02 | 38,69 | 0,23 | 10,52 | 2,24 | 98,85 |
| 8-600-02-7 | 49,71 | 0,57 | 34,08 | 0,02 | 0,24 | 0,04 | 0,00 | 2,27 | 0,15 | 7,63 | 4,67 | 99,39 |
| 8-600-02-8 | 23,03 | 7,63 | 6,77 | 0,01 | 0,19 | 0,16 | 0,03 | 48,06 | 0,25 | 11,48 | 1,03 | 98,65 |
| 8-600-02-9 | 25,08 | 6,94 | 7,73 | 0,01 | 0,18 | 0,15 | 0,03 | 46,18 | 0,25 | 11,29 | 1,20 | 99,04 |
| 8-630-1 | 31,92 | 5,06 | 15,34 | 0,01 | 0,19 | 0,12 | 0,02 | 32,67 | 0,23 | 9,17 | 4,44 | 99,17 |
| 8-630-2 | 32,67 | 4,05 | 17,85 | 0,01 | 0,19 | 0,12 | 0,02 | 31,11 | 0,23 | 9,17 | 3,89 | 99,31 |
| 8-630-3 | 27,90 | 4,80 | 19,06 | 0,01 | 0,22 | 0,13 | 0,03 | 35,30 | 0,24 | 8,53 | 3,44 | 99,65 |
| РШ-44 | 25,87 | 4,17 | 12,16 | He опр. | 0,28 | 0,18 | He опр. | 41,54 | He опр. | 11,14 | 2,86 | 95,34 |
| 3152/20 | 39,63 | 2,28 | 31,42 | He опр. | 0,10 | 0,01 | He опр. | 10,13 | He опр. | 9,42 | 5,48 | 98,47 |
| 3154/14 | 43,49 | 0,60 | 36,54 | He опр. | 0,10 | 0,02 | He опр. | 1,10 | He опр. | 7,99 | 9,64 | 99,48 |

Химический состав (мас. %) хромититов Енгайского и Юго-Западного рудных полей

| № обр. | MgO | Al ₂ O ₃ | SiO ₂ | P ₂ O ₅ | CaO | TiO ₂ | V ₂ O ₃ | Cr ₂ O ₃ | MnO | FeO _{сум} | П.п.п. | Сумма |
|-----------|-------|--------------------------------|------------------|-------------------------------|------|------------------|-------------------------------|--------------------------------|------|--------------------|--------|--------|
| | | | | | | | | | | | | |
| K-712-13 | 38,23 | 3,88 | 28,26 | 0,03 | 0,56 | 0,10 | 0,01 | 13,91 | 0,20 | 9,66 | 4,40 | 100,43 |
| K-712-14 | 41,20 | 1,46 | 33,99 | 0,02 | 0,35 | 0,07 | 0,01 | 6,87 | 0,18 | 8,66 | 6,60 | 100,48 |
| K-712-2 | 44,01 | 2,39 | 30,04 | 0,01 | 0,00 | 0,08 | 0,01 | 9,83 | 0,20 | 9,50 | 3,10 | 100,34 |
| K-712-3 | 37,21 | 2,48 | 35,08 | 0,02 | 1,16 | 0,08 | 0,01 | 11,18 | 0,19 | 7,83 | 4,10 | 100,31 |
| K-712-4 | 44,78 | 1,81 | 35,51 | 0,01 | 0,31 | 0,06 | 0,01 | 4,28 | 0,15 | 7,05 | 6,10 | 100,93 |
| K-712-5 | 36,10 | 5,07 | 23,22 | 0,01 | 0,00 | 0,12 | 0,02 | 21,36 | 0,21 | 10,07 | 3,20 | 100,64 |
| K-712-6 | 36,51 | 4,66 | 25,51 | 0,02 | 0,30 | 0,11 | 0,02 | 17,81 | 0,21 | 9,86 | 4,30 | 100,52 |
| K-712-7 | 43,46 | 2,77 | 30,17 | 0,02 | 0,28 | 0,08 | 0,01 | 10,25 | 0,18 | 8,67 | 4,00 | 100,96 |
| K-712-8 | 39,66 | 3,77 | 27,98 | 0,02 | 0,00 | 0,10 | 0,01 | 13,93 | 0,20 | 8,60 | 5,20 | 100,53 |
| K-713A-11 | 42,15 | 2,72 | 29,56 | 0,02 | 0,00 | 0,08 | 0,01 | 12,71 | 0,18 | 8,37 | 3,20 | 100,05 |
| K-713A-15 | 45,52 | 1,87 | 31,62 | 0,02 | 0,00 | 0,08 | 0,01 | 8,68 | 0,18 | 8,56 | 3,10 | 100,69 |
| K-713A-16 | 45,99 | 1,55 | 32,08 | 0,02 | 0,00 | 0,07 | 0,01 | 7,59 | 0,18 | 8,61 | 3,30 | 100,46 |
| K-713A-18 | 41,92 | 2,88 | 26,58 | 0,03 | 0,33 | 0,10 | 0,01 | 14,22 | 0,20 | 9,99 | 2,90 | 100,40 |
| K-713A-20 | 47,45 | 1,67 | 31,31 | 0,05 | 0,00 | 0,07 | 0,01 | 7,73 | 0,17 | 7,89 | 3,10 | 100,41 |
| K-713A-27 | 38,29 | 3,76 | 26,28 | 0,01 | 0,00 | 0,10 | 0,01 | 16,01 | 0,21 | 9,90 | 4,50 | 100,29 |
| K-713A-26 | 41,70 | 2,17 | 32,77 | 0,04 | 0,30 | 0,08 | 0,01 | 7,80 | 0,17 | 8,88 | 5,80 | 100,82 |
| K-713A-4 | 42,70 | 3,22 | 27,83 | 0,03 | 0,00 | 0,09 | 0,01 | 13,53 | 0,19 | 8,56 | 2,80 | 100,02 |
| K-713A-5 | 43,76 | 3,21 | 26,60 | 0,03 | 0,00 | 0,09 | 0,01 | 13,95 | 0,19 | 8,78 | 2,50 | 100,21 |
| K-713A-6 | 41,69 | 3,62 | 29,50 | 0,03 | 0,38 | 0,09 | 0,01 | 12,25 | 0,17 | 7,16 | 4,50 | 100,28 |
| K-713A-7 | 34,80 | 6,22 | 19,62 | 0,02 | 0,00 | 0,13 | 0,02 | 25,42 | 0,21 | 9,74 | 3,10 | 100,48 |
| K-713A-8 | 44,60 | 2,19 | 31,19 | 0,02 | 0,00 | 0,08 | 0,01 | 9,57 | 0,18 | 8,33 | 3,40 | 100,59 |
| K-723/2 | 42,94 | 0,31 | 35,80 | 0,02 | 0,37 | 0,05 | 0,00 | 1,41 | 0,18 | 8,37 | 10,40 | 100,89 |
| K-725-2 | 42,18 | 1,20 | 33,89 | 0,04 | 0,31 | 0,06 | 0,01 | 5,42 | 0,20 | 8,73 | 7,40 | 100,52 |
| K-725-3 | 41,55 | 1,44 | 32,60 | 0,02 | 0,00 | 0,08 | 0,01 | 9,77 | 0,19 | 7,40 | 6,90 | 100,88 |

Продолжение прилож. б

| №.обр. | MgO | Al ₂ O ₃ | SiO ₂ | P ₂ O ₅ | CaO | TiO ₂ | V ₂ O ₅ | Cr ₂ O ₃ | MnO | FeO _{сум} | П.п.п. | Сумма |
|----------|-------|--------------------------------|------------------|-------------------------------|------|------------------|-------------------------------|--------------------------------|------|--------------------|--------|--------|
| K-725-4 | 43,28 | 1,94 | 31,82 | 0,03 | 0,00 | 0,08 | 0,01 | 10,23 | 0,18 | 7,28 | 4,70 | 100,45 |
| K-725-5 | 44,03 | 1,08 | 33,72 | 0,03 | 0,00 | 0,07 | 0,01 | 6,29 | 0,18 | 7,18 | 6,95 | 100,43 |
| K-725-6 | 43,59 | 1,04 | 33,03 | 0,03 | 0,00 | 0,07 | 0,01 | 6,83 | 0,18 | 7,86 | 7,85 | 101,46 |
| K-725-7 | 44,85 | 1,64 | 36,10 | He отпр. | 0,29 | 0,06 | He отпр. | 3,29 | 0,00 | 8,17 | 5,14 | 99,54 |
| K-726-2 | 34,34 | 3,85 | 23,47 | 0,02 | 0,00 | 0,12 | 0,02 | 21,88 | 0,23 | 10,31 | 5,15 | 100,65 |
| K-726-3 | 39,26 | 2,86 | 28,68 | 0,02 | 0,00 | 0,08 | 0,01 | 12,94 | 0,21 | 9,41 | 5,70 | 100,33 |
| K-726-4 | 42,68 | 1,59 | 36,20 | 0,01 | 1,10 | 0,06 | 0,01 | 6,33 | 0,16 | 6,93 | 4,50 | 100,43 |
| K-726-6 | 46,06 | 1,27 | 33,85 | 0,02 | 0,30 | 0,06 | 0,01 | 5,53 | 0,17 | 7,86 | 4,40 | 100,50 |
| K-726-7 | 41,56 | 1,72 | 32,09 | 0,02 | 0,00 | 0,08 | 0,01 | 10,19 | 0,19 | 8,31 | 5,44 | 100,64 |
| K-726-8 | 39,67 | 2,79 | 27,89 | 0,02 | 0,00 | 0,10 | 0,01 | 13,89 | 0,21 | 9,65 | 4,70 | 100,13 |
| K-726-10 | 37,20 | 3,68 | 26,49 | 0,03 | 0,00 | 0,10 | 0,02 | 17,42 | 0,20 | 10,33 | 3,65 | 100,40 |
| K-726-11 | 29,16 | 4,05 | 30,02 | 0,03 | 2,96 | 0,11 | 0,02 | 19,48 | 0,20 | 9,63 | 4,00 | 100,86 |
| K-726-12 | 35,14 | 4,33 | 23,08 | 0,02 | 0,00 | 0,12 | 0,02 | 21,66 | 0,22 | 10,80 | 3,60 | 100,31 |
| K-726-13 | 31,79 | 5,03 | 20,31 | 0,02 | 0,00 | 0,13 | 0,02 | 26,23 | 0,24 | 11,84 | 3,50 | 100,57 |
| K-726-14 | 40,40 | 2,64 | 26,81 | 0,03 | 0,00 | 0,10 | 0,01 | 15,90 | 0,20 | 9,45 | 3,70 | 100,42 |
| K-726-15 | 36,39 | 3,57 | 24,20 | 0,02 | 0,00 | 0,11 | 0,02 | 19,96 | 0,22 | 10,94 | 3,35 | 100,12 |
| K-726-16 | 36,63 | 4,69 | 21,61 | 0,02 | 0,00 | 0,12 | 0,02 | 22,44 | 0,22 | 10,53 | 2,90 | 100,48 |
| K-726-17 | 37,50 | 3,93 | 25,08 | 0,02 | 0,00 | 0,10 | 0,01 | 18,62 | 0,21 | 10,25 | 3,30 | 100,30 |
| K-726-18 | 39,99 | 3,03 | 28,38 | 0,02 | 0,00 | 0,09 | 0,01 | 13,52 | 0,20 | 9,14 | 4,50 | 100,01 |
| K-726-19 | 38,95 | 2,26 | 28,50 | 0,02 | 0,00 | 0,09 | 0,01 | 14,64 | 0,20 | 9,11 | 5,85 | 100,77 |
| K-742-3 | 43,27 | 3,49 | 28,94 | 0,02 | 0,00 | 0,09 | 0,01 | 13,00 | 0,17 | 7,81 | 3,10 | 100,86 |
| K-742-6 | 31,14 | 7,63 | 14,40 | 0,02 | 0,00 | 0,16 | 0,02 | 31,79 | 0,23 | 12,02 | 1,20 | 100,10 |
| K-742-9 | 34,67 | 6,27 | 20,81 | 0,02 | 0,48 | 0,13 | 0,02 | 24,58 | 0,21 | 9,45 | 2,40 | 100,21 |
| K-742-10 | 28,50 | 9,25 | 12,23 | 0,04 | 0,00 | 0,17 | 0,03 | 35,68 | 0,23 | 10,79 | 1,95 | 100,20 |
| K-742-11 | 28,90 | 7,41 | 15,21 | 0,04 | 0,31 | 0,17 | 0,02 | 32,61 | 0,24 | 11,49 | 2,60 | 100,42 |
| K-742-14 | 33,20 | 7,45 | 15,25 | 0,02 | 0,00 | 0,16 | 0,02 | 30,76 | 0,22 | 10,60 | 1,10 | 100,09 |

| № обр. | MgO | Al ₂ O ₃ | SiO ₂ | P ₂ O ₅ | CaO | TiO ₂ | V ₂ O ₅ | Cr ₂ O ₃ | MnO | FeO _{сум} | П.п.п. | Сумма |
|-----------|-------|--------------------------------|------------------|-------------------------------|------|------------------|-------------------------------|--------------------------------|---------|--------------------|--------|--------|
| K-742-15 | 23,65 | 10,21 | 7,86 | 0,02 | 0,00 | 0,21 | 0,03 | 43,36 | 0,25 | 12,06 | 1,30 | 100,43 |
| K-742-17 | 45,62 | 0,47 | 36,18 | 0,02 | 0,31 | 0,05 | 0,00 | 2,85 | 0,17 | 7,08 | 6,80 | 100,43 |
| K-742-19 | 44,65 | 1,42 | 36,60 | He onp. | 0,57 | 0,06 | He onp. | 3,80 | 0,00 | 7,95 | 4,50 | 99,55 |
| K-742-22 | 29,45 | 7,99 | 14,04 | 0,02 | 0,00 | 0,16 | 0,02 | 32,68 | 0,25 | 12,33 | 1,70 | 100,16 |
| K-742-23 | 39,85 | 3,11 | 29,82 | 0,02 | 0,50 | 0,09 | 0,01 | 12,12 | 0,21 | 9,39 | 4,40 | 100,68 |
| K-742-24 | 42,64 | 2,35 | 30,88 | 0,02 | 0,00 | 0,08 | 0,01 | 11,69 | 0,18 | 8,34 | 3,30 | 100,52 |
| K-742-25 | 43,51 | 2,96 | 27,41 | 0,02 | 0,00 | 0,09 | 0,01 | 14,01 | 0,19 | 8,61 | 2,70 | 100,57 |
| K-742-26 | 45,35 | 1,58 | 33,83 | 0,02 | 0,80 | 0,07 | 0,01 | 7,22 | 0,16 | 7,40 | 3,50 | 100,86 |
| K-742-27 | 45,88 | 0,82 | 37,36 | He onp. | 1,14 | 0,05 | He onp. | 3,17 | He onp. | 7,28 | 3,10 | 98,80 |
| K-742P-2 | 44,05 | 3,08 | 28,70 | 0,02 | 0,48 | 0,09 | 0,01 | 10,40 | 0,19 | 9,13 | 3,00 | 100,28 |
| K-742P-3 | 47,57 | 1,35 | 32,67 | 0,04 | 0,37 | 0,07 | 0,01 | 4,91 | 0,17 | 8,17 | 4,20 | 100,53 |
| K-742P-4 | 48,09 | 1,06 | 33,31 | 0,02 | 0,33 | 0,06 | 0,01 | 4,55 | 0,17 | 8,13 | 3,50 | 100,23 |
| K-742P-7 | 47,10 | 2,04 | 36,30 | He onp. | 0,29 | 0,01 | He onp. | 3,32 | He onp. | 8,35 | 2,32 | 99,73 |
| K-742P-8 | 41,99 | 3,38 | 26,27 | 0,04 | 0,00 | 0,10 | 0,01 | 15,16 | 0,20 | 9,22 | 2,80 | 100,32 |
| K-742P-9 | 43,35 | 3,14 | 27,05 | 0,02 | 0,00 | 0,09 | 0,01 | 14,00 | 0,20 | 9,18 | 2,40 | 100,58 |
| K-742P-10 | 29,51 | 8,29 | 12,88 | 0,02 | 0,00 | 0,17 | 0,02 | 34,05 | 0,24 | 11,89 | 1,60 | 100,14 |
| K-742P-11 | 31,85 | 7,98 | 14,82 | 0,02 | 0,00 | 0,16 | 0,02 | 31,34 | 0,22 | 10,64 | 1,70 | 100,07 |
| K-742P-12 | 46,55 | 2,00 | 31,05 | 0,03 | 0,00 | 0,07 | 0,01 | 8,54 | 0,17 | 7,48 | 3,50 | 100,32 |
| K-742P-15 | 46,52 | 1,54 | 32,83 | 0,02 | 0,00 | 0,07 | 0,01 | 6,38 | 0,17 | 8,03 | 3,50 | 100,05 |
| K-743-3 | 38,01 | 1,65 | 32,44 | 0,02 | 0,00 | 0,08 | 0,01 | 7,84 | 0,21 | 8,42 | 10,80 | 100,52 |
| K-743-4 | 41,88 | 0,52 | 35,19 | 0,03 | 0,40 | 0,06 | 0,01 | 4,91 | 0,18 | 7,54 | 9,80 | 101,46 |
| K-743-5 | 35,14 | 2,29 | 32,02 | 0,02 | 0,00 | 0,09 | 0,02 | 12,56 | 0,22 | 8,95 | 8,55 | 100,97 |
| K-743-7 | 41,55 | 2,10 | 31,05 | 0,02 | 0,30 | 0,08 | 0,01 | 10,33 | 0,19 | 7,41 | 6,70 | 100,66 |
| K-743-8 | 41,91 | 1,90 | 33,73 | 0,02 | 0,00 | 0,07 | 0,01 | 8,15 | 0,17 | 5,99 | 7,95 | 100,64 |
| K-743-10 | 40,85 | 1,37 | 34,27 | 0,06 | 0,86 | 0,14 | 0,01 | 6,05 | 0,19 | 9,41 | 6,10 | 100,47 |
| P-4000-2 | 43,70 | 1,84 | 34,28 | He onp. | 0,28 | 0,08 | He onp. | 5,07 | He onp. | 7,30 | 5,98 | 98,53 |

Продолжение прилож. б

| № обр. | MgO | Al ₂ O ₃ | SiO ₂ | CaO | TiO ₂ | Cr ₂ O ₃ | FeO _{св} | П.п.п. | Сумма |
|-------------|-------|--------------------------------|------------------|------|------------------|--------------------------------|-------------------|--------|--------|
| P-4000-3 | 36,08 | 3,78 | 24,68 | 0,42 | 0,07 | 16,21 | 11,00 | 6,90 | 99,14 |
| P-4000-4 | 42,31 | 1,14 | 36,48 | 0,28 | 0,06 | 2,79 | 7,97 | 8,44 | 99,47 |
| P-4000-8 | 42,61 | 1,50 | 33,88 | 0,14 | 0,07 | 5,57 | 8,74 | 5,92 | 98,43 |
| P-4000-11 | 43,89 | 1,34 | 34,50 | 0,42 | 0,09 | 5,19 | 7,16 | 5,82 | 98,41 |
| P-4000-14 | 38,84 | 2,56 | 24,72 | 0,14 | 0,06 | 16,59 | 6,35 | 5,98 | 95,24 |
| P-4000-17 | 38,95 | 2,70 | 28,74 | 0,14 | 0,07 | 11,98 | 9,56 | 8,94 | 101,08 |
| P-4000-19 | 43,70 | 1,80 | 33,26 | 0,28 | 0,09 | 5,45 | 7,13 | 6,86 | 98,57 |
| P-4000-20 | 43,51 | 1,58 | 32,46 | 0,28 | 0,07 | 4,51 | 7,33 | 8,86 | 98,60 |
| P-4000-21 | 42,91 | 1,80 | 32,48 | 0,00 | 0,07 | 7,85 | 7,06 | 6,70 | 98,87 |
| P-4000-22 | 41,91 | 1,92 | 31,02 | 0,28 | 0,08 | 6,59 | 6,99 | 9,18 | 97,97 |
| P-4000-23 | 41,32 | 2,32 | 28,82 | 0,00 | 0,10 | 8,35 | 7,17 | 10,70 | 98,78 |
| P-4000-24 | 38,35 | 1,89 | 28,82 | 0,28 | 0,10 | 12,05 | 7,16 | 9,58 | 98,23 |
| P-4000-28 | 41,81 | 1,80 | 30,56 | 0,14 | 0,09 | 6,33 | 6,77 | 12,02 | 99,52 |
| P-4000-29 | 37,36 | 2,43 | 24,00 | 0,14 | 0,09 | 16,34 | 7,59 | 8,30 | 96,25 |
| P-4000-30 | 32,23 | 4,05 | 16,26 | 0,56 | 0,11 | 27,99 | 6,63 | 6,06 | 93,89 |
| P-4000-31 | 41,33 | 2,70 | 29,54 | 0,00 | 0,09 | 8,36 | 7,27 | 9,44 | 98,73 |
| P-4025-24 | 47,25 | 1,10 | 31,18 | 0,14 | 0,04 | 6,00 | 5,41 | 8,98 | 100,13 |
| P-4025-18 | 46,06 | 0,5 | 34,56 | 0,1 | 0,02 | 1,15 | 6,98 | 10 | 99,37 |
| P-4025-19 | 43,4 | 1,34 | 33,12 | 0,28 | 0,03 | 4,05 | 7,26 | 10,32 | 99,8 |
| P-4025-20 | 38,31 | 2,93 | 29,54 | 0,28 | 0,07 | 12,56 | 7,61 | 8,3 | 99,6 |
| P-4025-21 | 43,6 | 0,76 | 34,44 | 0,56 | 0,01 | 2,13 | 6,47 | 10,34 | 98,31 |
| P-4025-22/2 | 44,63 | 1,6 | 35,06 | 0,28 | 0,04 | 4,45 | 7,99 | 6,08 | 100,13 |
| P-4025-24/1 | 47,25 | 1,1 | 31,18 | 0,14 | 0,04 | 6 | 5,41 | 8,98 | 100,24 |
| P-4025-24/2 | 42,29 | 1,38 | 30,46 | 0,1 | 0,06 | 7,26 | 7,97 | 8,8 | 98,32 |
| P-4025-25/2 | 45,75 | 0,47 | 33,98 | 0,28 | 0,07 | 1,76 | 7,17 | 8,72 | 98,2 |
| P-4028-25 | 37,91 | 2,08 | 28,2 | 0,43 | 0,07 | 9,08 | 7,6 | 13,12 | 98,49 |

| № обр. | MgO | Al ₂ O ₃ | SiO ₂ | CaO | TiO ₂ | Cr ₂ O ₃ | FeO _{сум} | П.п.п. | Сумма |
|-----------|-------|--------------------------------|------------------|------|------------------|--------------------------------|--------------------|--------|--------|
| P-4028-26 | 42,29 | 1,38 | 31,36 | 0,43 | 0,06 | 4,59 | 7,26 | 10,76 | 98,13 |
| P-4028-27 | 32,6 | 2,84 | 32,14 | 0,14 | 0,09 | 17,2 | 6,89 | 7,52 | 99,42 |
| P-4028-28 | 41,57 | 2 | 31,86 | 0,14 | 0,09 | 7,56 | 6,97 | 8,28 | 98,47 |
| P-4028-29 | 46,16 | 1,34 | 33,74 | 0,28 | 0,14 | 3,92 | 7,27 | 6,48 | 99,33 |
| E-52/2 | 26,26 | 3,10 | 17,12 | 9,17 | 0,18 | 16,02 | 10,44 | 2,54 | 84,83 |
| E-52/3 | 27,25 | 10,24 | 12,34 | 0,00 | 0,20 | 36,33 | 13,61 | 0,68 | 100,65 |
| E-62/1 | 26,27 | 12,96 | 14,77 | 0,00 | 0,12 | 26,75 | 14,16 | 5,17 | 101,95 |
| E-64/3 | 17,38 | 12,15 | 8,32 | 0,28 | 0,28 | 36,98 | 21,1 | 2,38 | 98,87 |
| E-64/4 | 44,8 | 0,57 | 35,64 | 0,1 | 0,01 | 1,92 | 6,99 | 8,22 | 98,3 |
| E-64/5 | 29,50 | 3,85 | 16,54 | 0,30 | 0,10 | 33,20 | 12,1 | 2,94 | 100,26 |
| E-64/5-1 | 24,72 | 9,49 | 12,00 | 0,00 | 0,24 | 37,74 | 13,81 | 1,22 | 99,22 |
| E-502/2 | 26,72 | 6,25 | 10,44 | 0,00 | 0,15 | 41,08 | 11,16 | 2,96 | 100,16 |
| E-65/1 | 20,13 | 12,26 | 6,36 | 0,00 | 0,24 | 46,06 | 15,08 | 0,50 | 100,63 |
| E-65/2 | 25,48 | 9,50 | 13,36 | 0,82 | 0,22 | 34,95 | 13,87 | 1,92 | 100,12 |
| E-70/2 | 44,80 | 0,67 | 34,72 | 0,42 | 0,01 | 3,77 | 7,90 | 5,84 | 98,13 |
| E-70/7 | 49,33 | 0,32 | 38,26 | 0,1 | 0,02 | 1,32 | 7,46 | 3,66 | 100,53 |
| E-71/1-1 | 21,02 | 11,48 | 6,60 | 0,00 | 0,24 | 45,30 | 15,26 | 0,78 | 100,68 |
| E-71/1-2 | 22,78 | 10,56 | 10,04 | 0,28 | 0,26 | 40,52 | 13,80 | 0,96 | 99,20 |
| E-71/3 | 38,74 | 4,64 | 27,00 | 0,00 | 0,14 | 17,48 | 10,58 | 2,24 | 100,82 |
| E-72/1 | 20,66 | 12,00 | 5,70 | 0,00 | 0,24 | 45,49 | 15,45 | 0,98 | 100,52 |
| E-72/2-1 | 26,47 | 9,66 | 12,64 | 0,00 | 0,20 | 37,50 | 12,95 | 1,38 | 100,80 |
| E-72/2-2 | 23,94 | 10,04 | 12,60 | 0,28 | 0,22 | 39,00 | 13,20 | 1,32 | 100,60 |
| E-72/3 | 18,34 | 12,68 | 3,72 | 0,00 | 0,28 | 48,63 | 14,55 | 0,00 | 98,20 |
| E-72/4 | 23,17 | 10,57 | 10,44 | 0,00 | 0,24 | 40,78 | 14,56 | 1,06 | 100,82 |
| E-72/4 | 31,86 | 7,09 | 20,40 | 0,00 | 0,22 | 27,35 | 11,85 | 1,40 | 100,17 |
| E-205/1 | 26,75 | 7,33 | 14,26 | 0,00 | 0,16 | 32,57 | 15,17 | 2,39 | 100,51 |

Продолжение прилож. б

| № обр. | MgO | Al ₂ O ₃ | SiO ₂ | TiO ₂ | V ₂ O ₅ | Cr ₂ O ₃ | MnO | FeO _{сум} | П.п.п. | Сумма |
|----------|-------|--------------------------------|------------------|------------------|-------------------------------|--------------------------------|------|--------------------|--------|--------|
| E-206/1 | 29,50 | 8,61 | 12,28 | 0,16 | 0,03 | 34,35 | 0,25 | 12,20 | 1,49 | 100,38 |
| E-207/1 | 27,34 | 9,05 | 13,08 | 0,16 | 0,03 | 35,55 | 0,25 | 11,74 | 1,55 | 100,20 |
| E-207/2 | 26,84 | 9,85 | 11,11 | 0,17 | 0,03 | 37,65 | 0,24 | 11,22 | 1,81 | 100,31 |
| E-208/2 | 25,91 | 12,46 | 12,22 | 0,17 | 0,03 | 34,50 | 0,25 | 10,02 | 4,59 | 101,39 |
| E-208/4 | 25,27 | 11,15 | 12,73 | 0,16 | 0,06 | 34,27 | 0,28 | 12,19 | 4,00 | 101,61 |
| E-577/17 | 40,73 | 1,69 | 27,59 | 0,05 | 0,01 | 12,01 | 0,16 | 6,97 | 10,25 | 100,32 |
| E-577/3 | 44,24 | 0,68 | 35,89 | 0,02 | 0,00 | 0,98 | 0,10 | 5,37 | 12,41 | 100,35 |
| E-577/4 | 31,63 | 3,96 | 22,24 | 0,12 | 0,02 | 23,68 | 0,22 | 10,68 | 6,18 | 100,23 |
| E-1041/1 | 22,34 | 10,76 | 9,67 | 0,19 | 0,03 | 39,91 | 0,27 | 13,65 | 1,85 | 100,36 |
| E-1082/1 | 21,64 | 12,80 | 10,55 | 0,22 | 0,04 | 34,10 | 0,31 | 16,15 | 2,63 | 100,44 |
| E-1082/2 | 25,08 | 13,46 | 13,76 | 0,22 | 0,07 | 26,67 | 0,30 | 14,92 | 5,42 | 101,74 |
| E-1082/3 | 15,07 | 24,20 | 2,20 | 0,25 | 0,09 | 42,07 | 0,27 | 14,45 | 0,34 | 100,73 |
| E-1092/1 | 24,28 | 17,65 | 10,74 | 0,13 | 0,07 | 31,02 | 0,26 | 12,19 | 3,16 | 101,01 |
| E-1104/1 | 34,01 | 2,12 | 24,57 | 0,09 | 0,02 | 19,25 | 0,26 | 11,55 | 6,98 | 100,28 |
| E-1154/2 | 44,26 | 0,90 | 34,54 | 0,03 | 0,00 | 2,34 | 0,10 | 4,28 | 13,15 | 100,13 |
| E-1158/1 | 17,80 | 15,55 | 4,26 | 0,12 | 0,06 | 38,40 | 0,47 | 18,66 | 2,52 | 100,16 |
| E-1167/1 | 36,50 | 1,93 | 26,51 | 0,06 | 0,01 | 17,13 | 0,21 | 10,08 | 6,77 | 100,45 |
| E-1167/2 | 19,70 | 7,12 | 8,42 | 0,13 | 0,04 | 46,67 | 0,29 | 13,79 | 2,31 | 100,17 |
| E-1185/1 | 19,83 | 13,39 | 8,21 | 0,12 | 0,07 | 37,04 | 0,36 | 16,64 | 3,16 | 100,88 |
| E-1187/2 | 25,06 | 19,07 | 12,68 | 0,12 | 0,03 | 25,07 | 0,23 | 10,72 | 6,59 | 100,89 |
| E-1297/1 | 22,65 | 11,05 | 11,93 | 0,22 | 0,06 | 32,09 | 0,34 | 17,96 | 3,87 | 102,39 |
| E-1297/2 | 19,22 | 11,99 | 8,06 | 0,24 | 0,06 | 42,73 | 0,31 | 14,14 | 3,00 | 101,49 |
| E-1605/1 | 39,64 | 1,24 | 33,52 | 0,05 | 0,01 | 6,42 | 0,16 | 8,78 | 9,86 | 100,76 |
| E-1619/1 | 38,52 | 1,34 | 38,15 | 0,40 | 0,01 | 4,75 | 0,13 | 4,67 | 12,20 | 100,75 |
| E-1639/1 | 18,47 | 17,24 | 5,67 | 0,18 | 0,07 | 39,23 | 0,33 | 15,07 | 2,34 | 100,46 |
| E-1639/2 | 25,60 | 17,50 | 11,70 | 0,18 | 0,03 | 28,01 | 0,21 | 10,72 | 5,54 | 100,81 |

| № обр. | MgO | Al ₂ O ₃ | SiO ₂ | CaO | TiO ₂ | V ₂ O ₅ | Cr ₂ O ₃ | MnO | FeO _{сум} | П.п.п. | Сумма |
|-----------------------------------|-------|--------------------------------|------------------|------|------------------|-------------------------------|--------------------------------|---------|--------------------|--------|--------|
| E-1639/3 | 17,29 | 25,70 | 3,26 | 0,00 | 0,20 | 0,07 | 38,02 | 0,27 | 12,71 | 1,57 | 100,66 |
| E-1642/1 | 44,37 | 0,84 | 37,77 | 0,00 | 0,02 | 0,00 | 1,77 | 0,11 | 4,77 | 10,16 | 100,40 |
| E-1658/1 | 19,90 | 23,05 | 5,52 | 0,00 | 0,22 | 0,06 | 35,33 | 0,24 | 11,75 | 2,65 | 100,17 |
| E-1667/1 | 36,82 | 1,77 | 26,86 | 0,00 | 0,07 | 0,01 | 16,41 | 0,23 | 9,92 | 7,24 | 100,56 |
| E-1669/1 | 39,58 | 1,73 | 27,28 | 0,00 | 0,06 | 0,01 | 12,20 | 0,18 | 8,46 | 10,33 | 100,88 |
| E-1681/4 | 42,81 | 1,99 | 34,89 | 0,00 | 0,11 | 0,01 | 4,26 | 0,15 | 7,82 | 7,07 | 100,08 |
| E-1682/2 | 22,33 | 6,93 | 8,55 | 0,00 | 0,17 | 0,03 | 45,15 | 0,26 | 12,92 | 2,07 | 100,01 |
| E-1682/3 | 18,97 | 9,37 | 4,60 | 0,00 | 0,19 | 0,04 | 51,07 | 0,27 | 13,09 | 0,83 | 100,05 |
| E-1682/4 | 21,55 | 8,44 | 5,45 | 0,00 | 0,19 | 0,03 | 49,69 | 0,26 | 11,82 | 1,29 | 100,18 |
| E-1687/1 | 45,98 | 1,60 | 35,72 | 0,00 | 0,48 | 0,01 | 3,80 | 0,13 | 5,31 | 6,62 | 100,31 |
| E-571/1 | 15,09 | 23,58 | 3,59 | 1,03 | 0,35 | 0,10 | 38,60 | 0,26 | 15,31 | 0,49 | 100,29 |
| E-571/2 | 15,24 | 24,02 | 3,87 | 1,07 | 0,35 | 0,11 | 38,60 | 0,26 | 14,92 | 0,54 | 100,82 |
| E-571/3 | 17,29 | 21,25 | 5,81 | 0,66 | 0,29 | 0,09 | 36,34 | 0,27 | 14,92 | 1,49 | 100,25 |
| <i>Рудопроявление Енгайское-3</i> | | | | | | | | | | | |
| E-138/1 | 41,83 | 1,80 | 35,48 | 0,00 | 0,01 | He отр. | 4,60 | He отр. | 6,54 | 8,46 | 98,72 |
| E-138/2 | 43,18 | 0,24 | 38,00 | 0,00 | 0,02 | He отр. | 0,70 | He отр. | 11,58 | 5,90 | 99,62 |
| E-138/3 | 39,59 | 0,78 | 34,42 | 0,27 | 0,04 | He отр. | 1,84 | He отр. | 16,72 | 5,64 | 99,30 |
| E-141/4 | 41,06 | 1,10 | 36,72 | 0,00 | 0,05 | He отр. | 3,67 | He отр. | 10,21 | 7,42 | 100,23 |
| E-158/1 | 24,30 | 9,96 | 18,08 | 0,00 | 0,18 | He отр. | 25,84 | He отр. | 15,79 | 5,94 | 100,09 |
| E-168/3 | 32,00 | 4,49 | 25,05 | 0,00 | 0,14 | 0,03 | 16,95 | 0,27 | 14,60 | 5,19 | 100,52 |
| E-170/1 | 23,91 | 18,19 | 8,35 | 0,00 | 0,19 | 0,03 | 32,58 | 0,22 | 10,70 | 4,79 | 100,28 |
| E-170/2 | 23,10 | 17,28 | 9,14 | 0,00 | 0,22 | 0,03 | 32,29 | 0,23 | 11,20 | 5,19 | 100,06 |
| E-170/3 | 23,01 | 13,82 | 10,76 | 0,00 | 0,21 | 0,03 | 30,50 | 0,33 | 15,33 | 4,50 | 100,39 |
| E-170/4 | 25,58 | 11,02 | 13,87 | 0,00 | 0,19 | 0,02 | 25,90 | 0,36 | 16,06 | 5,12 | 100,11 |
| E-170/5 | 14,84 | 15,35 | 2,19 | 0,00 | 0,23 | 0,05 | 47,51 | 0,33 | 16,96 | 0,70 | 100,26 |
| E-172/4 | 19,70 | 19,22 | 5,49 | 0,00 | 0,22 | 0,03 | 38,39 | 0,23 | 12,22 | 3,18 | 100,20 |
| E-172/5 | 19,16 | 17,56 | 5,64 | 0,00 | 0,23 | 0,03 | 39,55 | 0,25 | 12,91 | 3,28 | 100,21 |

Продолжение приложения б

| № обр. | MgO | Al ₂ O ₃ | SiO ₂ | CaO | TiO ₂ | V ₂ O ₅ | Cr ₂ O ₃ | MnO | FeO _{сум} | П.пл. | Сумма |
|----------|-------|--------------------------------|------------------|------|------------------|-------------------------------|--------------------------------|---------|--------------------|-------|--------|
| E-172/6 | 21,53 | 17,46 | 6,47 | 0,00 | 0,23 | 0,03 | 37,19 | 0,23 | 12,18 | 3,41 | 100,24 |
| E-173/2 | 21,14 | 16,84 | 7,81 | 0,00 | 0,21 | 0,03 | 36,82 | 0,25 | 12,18 | 4,12 | 100,90 |
| E-174/1 | 28,62 | 16,06 | 14,53 | 0,00 | 0,15 | 0,02 | 24,26 | 0,22 | 8,86 | 6,59 | 100,39 |
| E-174/2 | 26,46 | 17,20 | 12,01 | 0,00 | 0,16 | 0,02 | 25,82 | 0,20 | 9,84 | 7,23 | 100,16 |
| E-644/1 | 46,55 | 1,36 | 36,66 | 0,00 | 0,03 | 0,01 | 4,06 | 0,12 | 5,10 | 5,65 | 100,16 |
| E-648/1 | 20,97 | 6,13 | 9,55 | 0,00 | 0,13 | 0,04 | 46,13 | 0,30 | 13,96 | 1,79 | 100,71 |
| E-664/1 | 44,00 | 0,66 | 34,24 | 0,28 | 0,04 | He onp. | 4,69 | He onp. | 5,98 | 8,28 | 98,17 |
| E-666/1 | 40,50 | 0,60 | 30,72 | 0,29 | 0,01 | He onp. | 7,86 | He onp. | 11,81 | 7,18 | 98,97 |
| BT-3-2-2 | 28,03 | 16,38 | 14,5 | 0,18 | 0,12 | He onp. | 24,05 | 0,23 | 8,58 | 7,2 | 99,28 |
| BT-3-2-3 | 27,48 | 13,39 | 14,86 | 0,2 | 0,14 | He onp. | 22,76 | 0,45 | 14,09 | 5,5 | 98,86 |
| BT-3-3-2 | 18,81 | 11,62 | 4,69 | 0,18 | 0,18 | He onp. | 44,26 | 0,43 | 16,08 | 1,9 | 98,16 |
| BT-3-3-3 | 19,46 | 13,4 | 5,84 | 0,29 | 0,21 | He onp. | 41,07 | 0,37 | 14,69 | 3,1 | 98,43 |
| BT-3-3-4 | 23,8 | 16,65 | 9,86 | 0,19 | 0,22 | He onp. | 31,9 | 0,26 | 10,63 | 5,2 | 98,71 |
| BT-3-4-3 | 25,07 | 18,07 | 11,17 | 0,18 | 0,17 | He onp. | 28 | 0,23 | 9,96 | 6,7 | 99,57 |
| BT-3-4-4 | 20,18 | 17,09 | 5,82 | 0,19 | 0,23 | He onp. | 38,48 | 0,3 | 13,55 | 3,3 | 99,13 |
| BT-3-5-2 | 23,21 | 18,82 | 8,7 | 0,18 | 0,26 | He onp. | 31,79 | 0,25 | 10,46 | 5,5 | 99,18 |
| BT-3-5-3 | 25,49 | 20,73 | 10,27 | 0,18 | 0,21 | He onp. | 27,58 | 0,21 | 9,05 | 5,9 | 99,63 |
| BT-3-5-4 | 17,7 | 18,15 | 2,43 | 0,2 | 0,3 | He onp. | 42,53 | 0,28 | 14,64 | 1,8 | 98,03 |
| BT-3-5-6 | 20,14 | 17,09 | 5,77 | 0,19 | 0,2 | He onp. | 37,05 | 0,39 | 14,77 | 3,1 | 98,68 |
| BT-3-6-3 | 20,63 | 16,27 | 7,58 | 0,19 | 0,18 | He onp. | 35,58 | 0,35 | 14,3 | 3,8 | 98,87 |
| BT-3-6-4 | 35,29 | 15,83 | 24 | 0,28 | 0,11 | He onp. | 7,19 | 0,13 | 7,14 | 10 | 99,97 |
| BT-3-6-5 | 20,41 | 19,09 | 6,53 | 0,19 | 0,21 | He onp. | 34,2 | 0,27 | 13,96 | 3,75 | 98,61 |
| BT-3-7-3 | 24,63 | 10,32 | 13,76 | 0,19 | 0,12 | He onp. | 24,36 | 0,69 | 21,36 | 4,5 | 99,93 |
| BT-3-8-3 | 25,38 | 19,19 | 11,3 | 0,19 | 0,18 | He onp. | 27,79 | 0,24 | 8,98 | 5,75 | 99 |
| BT-3-8-4 | 21,38 | 18,49 | 5,54 | 0,19 | 0,24 | He onp. | 37,7 | 0,27 | 12,33 | 2,95 | 99,1 |
| BT-3-8-5 | 20,63 | 19,45 | 4,78 | 0,19 | 0,26 | He onp. | 37,82 | 0,25 | 12,4 | 2,9 | 98,69 |

| № обр. | MgO | Al ₂ O ₃ | SiO ₂ | CaO | TiO ₂ | V ₂ O ₅ | Cr ₂ O ₃ | MnO | FeO _{сум} | П.пл. | Сумма |
|-----------|-------|--------------------------------|------------------|------|------------------|-------------------------------|--------------------------------|------|--------------------|-------|--------|
| БТ-3-8-6 | 21,79 | 19,71 | 7,49 | 0,19 | 0,22 | He опр. | 34,19 | 0,26 | 11,49 | 3,85 | 99,19 |
| БТ-3-8-7 | 22,96 | 15,31 | 7,33 | 0,19 | 0,28 | He опр. | 36,89 | 0,25 | 12 | 4,1 | 99,31 |
| БТ-3-8-8 | 25,28 | 7,35 | 30,46 | 0,43 | 0,13 | He опр. | 12,62 | 0 | 10,9 | 12,16 | 99,33 |
| БТ-3-9-3 | 23,8 | 14,03 | 14,26 | 0,19 | 0,15 | He опр. | 27,26 | 0,47 | 12,54 | 6,1 | 98,8 |
| БТ-3-9-5 | 23,5 | 18,35 | 10,02 | 0,19 | 0,22 | He опр. | 29,57 | 0,29 | 11,11 | 5,55 | 98,8 |
| БТ-3-9-6 | 25,33 | 15,68 | 12,07 | 0,19 | 0,17 | He опр. | 28,04 | 0,3 | 10,85 | 6,1 | 98,73 |
| БТ-3-10-2 | 28,06 | 12,88 | 15,52 | 0,19 | 0,13 | He опр. | 23,54 | 0,48 | 11,64 | 6,8 | 99,24 |
| E-176/1 | 46,05 | 0,90 | 35,64 | 0,00 | 0,02 | He опр. | 4,56 | | 6,97 | 5,32 | 99,46 |
| E-176/2 | 37,27 | 2,44 | 25,55 | 0,00 | 0,07 | 0,01 | 19,57 | 0,21 | 9,38 | 5,13 | 100,80 |
| E-176/3 | 29,50 | 3,88 | 18,99 | 0,30 | 0,09 | 0,02 | 31,15 | 0,25 | 10,87 | 3,69 | 100,08 |
| E-176/3 | 19,55 | 19,82 | 5,95 | 0,00 | 0,21 | 0,03 | 37,47 | 0,24 | 12,50 | 2,77 | 100,09 |
| E-176/4 | 34,22 | 3,53 | 23,03 | 0,00 | 0,09 | 0,02 | 24,94 | 0,23 | 9,47 | 3,48 | 100,17 |
| E-176/6 | 47,41 | 1,22 | 37,49 | 0,00 | 0,02 | 0,01 | 2,90 | 0,10 | 4,00 | 6,37 | 100,00 |
| E-176/7 | 45,83 | 1,67 | 37,86 | 0,36 | 0,02 | 0,01 | 2,96 | 0,12 | 5,28 | 5,88 | 100,28 |
| E-176/7 | 45,97 | 1,35 | 33,24 | 0,30 | 0,05 | 0,01 | 5,86 | 0,16 | 6,58 | 6,12 | 100,45 |
| E-176/9 | 47,00 | 1,20 | 29,74 | 0,30 | 0,06 | 0,01 | 11,18 | 0,17 | 5,61 | 4,99 | 100,94 |
| E-176/10 | 39,37 | 2,37 | 24,68 | 0,30 | 0,07 | 0,01 | 20,05 | 0,20 | 8,22 | 4,56 | 100,85 |
| E-176/12 | 26,64 | 4,98 | 14,25 | 0,00 | 0,11 | 0,03 | 38,51 | 0,26 | 11,29 | 2,64 | 100,10 |
| E-180/1 | 18,31 | 12,51 | 7,60 | 0,00 | 0,16 | 0,05 | 39,55 | 0,34 | 17,84 | 2,26 | 100,83 |
| E-180/2 | 23,22 | 15,82 | 10,84 | 0,00 | 0,12 | 0,04 | 31,28 | 0,29 | 13,10 | 4,51 | 100,84 |
| E-180/3 | 17,04 | 12,44 | 6,96 | 0,00 | 0,14 | 0,06 | 37,62 | 0,34 | 21,67 | 1,73 | 100,68 |
| E-186/1 | 25,78 | 16,16 | 14,75 | 0,00 | 0,12 | 0,04 | 25,50 | 0,22 | 10,27 | 6,26 | 100,37 |
| E-186/2 | 26,16 | 17,27 | 13,45 | 0,00 | 0,12 | 0,04 | 26,32 | 0,23 | 10,20 | 5,50 | 100,55 |
| E-186/3 | 27,47 | 15,06 | 18,12 | 0,00 | 0,12 | 0,03 | 21,26 | 0,20 | 8,95 | 8,05 | 100,37 |
| E-232/2 | 26,36 | 9,14 | 15,23 | 0,00 | 0,17 | 0,04 | 31,22 | 0,27 | 14,05 | 2,21 | 100,43 |
| E-232/3 | 23,76 | 9,85 | 11,85 | 0,00 | 0,19 | 0,05 | 34,92 | 0,29 | 15,87 | 1,70 | 100,44 |

Продолжение прилож. б

| № обр. | MgO | Al ₂ O ₃ | SiO ₂ | CaO | TiO ₂ | V ₂ O ₅ | Cr ₂ O ₃ | MnO | FeO _{св} | П.пл. | Сумма |
|-----------------------------------|-------|--------------------------------|------------------|------|------------------|-------------------------------|--------------------------------|---------|-------------------|-------|--------|
| E-235/2 | 25,22 | 9,30 | 14,69 | 0,00 | 0,12 | 0,02 | 32,58 | 0,34 | 13,26 | 4,00 | 101,17 |
| E-237/1 | 19,29 | 18,08 | 6,11 | 0,00 | 0,13 | 0,07 | 39,28 | 0,26 | 12,91 | 2,88 | 100,61 |
| E-237/2 | 26,04 | 13,10 | 13,46 | 0,00 | 0,16 | 0,02 | 32,03 | 0,28 | 11,20 | 4,30 | 101,97 |
| E-249/1 | 20,75 | 11,02 | 9,25 | 0,00 | 0,19 | 0,04 | 39,59 | 0,30 | 15,40 | 3,16 | 101,61 |
| E-252/1 | 16,00 | 12,88 | 5,24 | 0,00 | 0,24 | 0,07 | 45,14 | 0,32 | 18,29 | 1,14 | 101,57 |
| E-625/1 | 42,83 | 0,97 | 40,02 | 0,00 | 0,02 | 0,00 | 1,09 | 0,12 | 6,29 | 8,46 | 100,58 |
| E-625/2 | 25,04 | 17,18 | 11,28 | 0,00 | 0,21 | 0,03 | 26,22 | 0,34 | 13,26 | 5,69 | 100,89 |
| E-625/3 | 24,74 | 9,72 | 15,68 | 0,36 | 0,16 | 0,02 | 24,25 | 0,50 | 17,69 | 4,90 | 100,21 |
| E-625/4 | 41,60 | 2,21 | 37,77 | 0,00 | 0,06 | 0,01 | 10,63 | 0,16 | 5,65 | 2,40 | 101,03 |
| E-644/1 | 46,55 | 1,36 | 36,66 | 0,30 | 0,03 | 0,01 | 4,06 | 0,12 | 5,10 | 5,65 | 99,84 |
| E-648/1 | 20,97 | 6,13 | 9,55 | 0,30 | 0,13 | 0,05 | 46,13 | 0,30 | 13,96 | 1,79 | 99,31 |
| E-652/1 | 43,41 | 0,54 | 35,58 | 0,28 | 0,01 | 0,00 | 2,00 | 0,00 | 6,61 | 11,44 | 99,91 |
| E-664/1 | 44,00 | 0,66 | 34,24 | 0,28 | 0,04 | 0,00 | 4,69 | 0,00 | 5,98 | 8,28 | 98,21 |
| E-666/1 | 40,50 | 0,60 | 30,72 | 0,29 | 0,01 | 0,00 | 7,86 | 0,00 | 11,81 | 7,18 | 99,05 |
| E-719/1 | 19,60 | 12,57 | 8,23 | 0,00 | 0,18 | 0,03 | 39,61 | 0,33 | 16,29 | 2,60 | 101,45 |
| E-719/3 | 26,02 | 10,09 | 14,71 | 0,00 | 0,15 | 0,03 | 30,10 | 0,28 | 13,27 | 4,78 | 101,06 |
| E-719/4 | 28,71 | 7,28 | 19,99 | 0,00 | 0,14 | 0,03 | 26,25 | 0,28 | 12,86 | 4,90 | 102,02 |
| E-723/1 | 20,34 | 12,56 | 9,94 | 0,00 | 0,24 | 0,10 | 29,37 | 0,30 | 24,09 | 2,33 | 102,24 |
| E-723/2 | 12,99 | 13,36 | 3,05 | 0,00 | 0,37 | 0,23 | 38,56 | 0,33 | 29,01 | 0,00 | 101,48 |
| E-723/2a | 24,22 | 9,20 | 13,55 | 0,00 | 0,16 | 0,05 | 28,06 | 0,33 | 19,62 | 4,67 | 102,29 |
| E-724/1 | 14,10 | 9,93 | 4,90 | 0,00 | 0,28 | 0,15 | 39,66 | 0,37 | 27,98 | 0,00 | 100,83 |
| E-1822/2 | 15,07 | 22,97 | 2,00 | 0,00 | 0,16 | 0,06 | 43,55 | 0,26 | 14,84 | 0,14 | 100,87 |
| <i>Рудопровяление Енгайское-4</i> | | | | | | | | | | | |
| E-101/1 | 42,02 | 0,54 | 36,20 | 0,00 | 0,03 | He опр. | 3,17 | He опр. | 12,00 | 6,96 | 100,92 |
| E-102/1 | 17,38 | 7,95 | 5,32 | 0,28 | 0,14 | He опр. | 48,63 | He опр. | 19,13 | 1,52 | 100,35 |
| E-133/1 | 24,33 | 10,61 | 17,64 | 0,00 | 0,18 | He опр. | 26,85 | He опр. | 13,00 | 6,72 | 99,33 |
| E-133/2 | 23,36 | 11,24 | 13,56 | 0,00 | 0,22 | He опр. | 34,09 | He опр. | 13,48 | 4,58 | 100,53 |

| № обр. | MgO | Al ₂ O ₃ | SiO ₂ | CaO | TiO ₂ | Cr ₂ O ₃ | MnO | FeO _{сум} | П.п.п. | Сумма |
|------------|-------|--------------------------------|------------------|------|------------------|--------------------------------|---------|--------------------|--------|--------|
| E-133/3 | 18,67 | 6,78 | 13,70 | 0,00 | 0,18 | 40,38 | He onp. | 19,01 | 2,04 | 100,76 |
| E-133/4 | 22,01 | 12,68 | 10,12 | 0,28 | 0,28 | 38,50 | He onp. | 12,82 | 3,46 | 100,15 |
| E-134/1 | 23,94 | 10,55 | 16,68 | 0,00 | 0,28 | 28,88 | He onp. | 12,16 | 6,48 | 98,97 |
| E-134/2 | 22,01 | 7,39 | 13,52 | 0,00 | 0,18 | 37,48 | He onp. | 17,86 | 2,38 | 100,82 |
| E-134/3 | 21,50 | 11,56 | 10,88 | 0,00 | 0,18 | 38,00 | He onp. | 15,74 | 2,84 | 100,70 |
| E-146/3 | 25,08 | 9,42 | 17,06 | 0,00 | 0,18 | 24,82 | He onp. | 17,42 | 5,90 | 99,88 |
| E-148/2 | 19,70 | 13,41 | 6,56 | 0,00 | 0,14 | 38,72 | He onp. | 18,80 | 1,88 | 99,21 |
| E-697/1 | 22,53 | 10,41 | 11,50 | 0,00 | 0,16 | 31,09 | 0,35 | 17,74 | 3,99 | 100,00 |
| E-697/2 | 28,34 | 12,86 | 16,00 | 0,00 | 0,12 | 22,24 | 0,25 | 13,14 | 5,98 | 100,57 |
| T-808-0-2 | 41,98 | 0,60 | 35,24 | 0,10 | 0,03 | 1,12 | 0,00 | 8,73 | 11,92 | 99,72 |
| T-808-2-2 | 23,05 | 16,75 | 10,57 | 0,20 | 0,19 | 30,67 | 0,28 | 12,89 | 4,40 | 99,00 |
| T-808-2-3 | 40,05 | 2,65 | 31,53 | 0,19 | 0,07 | 6,50 | 0,19 | 8,10 | 10,40 | 99,68 |
| T-808-2-4 | 44,22 | 0,58 | 36,12 | 0,10 | 0,03 | 1,31 | 0,00 | 6,98 | 9,06 | 98,40 |
| T-808-4-2 | 39,05 | 2,09 | 28,17 | 0,19 | 0,08 | 10,59 | 0,23 | 11,28 | 7,40 | 99,08 |
| T-808-4-3 | 29,08 | 14,29 | 15,78 | 0,18 | 0,14 | 23,35 | 0,22 | 9,10 | 7,50 | 99,64 |
| T-808-4-4 | 37,84 | 1,72 | 27,67 | 0,21 | 0,07 | 12,58 | 0,24 | 12,19 | 6,60 | 99,12 |
| T-808-4-5 | 47,68 | 0,34 | 35,68 | 0,28 | 0,03 | 1,22 | 0,00 | 8,18 | 5,22 | 98,63 |
| T-808-6-3 | 26,00 | 13,48 | 12,49 | 0,18 | 0,15 | 31,46 | 0,24 | 10,64 | 4,70 | 99,34 |
| T-808-8-2 | 30,78 | 13,00 | 18,47 | 0,19 | 0,10 | 20,34 | 0,22 | 9,09 | 7,50 | 99,69 |
| T-808-10-3 | 24,69 | 12,57 | 12,18 | 0,19 | 0,15 | 31,79 | 0,27 | 11,81 | 5,30 | 98,95 |
| T-808-10-4 | 26,61 | 12,16 | 14,24 | 0,19 | 0,15 | 29,52 | 0,26 | 10,64 | 5,10 | 98,88 |
| T-808-12-2 | 22,08 | 13,35 | 10,09 | 0,19 | 0,13 | 35,06 | 0,34 | 13,94 | 3,70 | 98,88 |
| T-808-14-4 | 41,02 | 1,23 | 33,08 | 0,25 | 0,05 | 3,45 | 0,17 | 7,23 | 13,40 | 99,88 |
| T-808-16-2 | 40,47 | 3,14 | 29,09 | 0,19 | 0,07 | 8,57 | 0,20 | 8,94 | 8,60 | 99,27 |
| T-808-16-3 | 24,37 | 16,91 | 10,77 | 0,19 | 0,20 | 30,40 | 0,25 | 10,56 | 5,10 | 98,75 |

Продолжение прилож. б

| № обр. | Cr ₂ O ₃ | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | FeO _{сум} | CaO | MgO | MnO | П.лл. | Сумма |
|--|--------------------------------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------|---------|-------|------|-------|--------|
| <i>Рудопроизведения Юго-Западного рудного поля</i> | | | | | | | | | | |
| У-6/1 | 23,11 | 30,50 | 0,10 | 3,88 | 10,69 | 0,86 | 28,22 | 0,17 | 2,80 | 100,33 |
| У-6/2 | 58,90 | 2,42 | 0,12 | 9,86 | 13,00 | He опр. | 15,42 | 0,14 | 0,20 | 100,08 |
| У-7/1 | 54,43 | 3,21 | 0,13 | 10,60 | 14,13 | He опр. | 16,46 | 0,16 | 0,90 | 100,02 |
| У-7/2 | 57,43 | 1,60 | 0,10 | 9,92 | 15,26 | He опр. | 15,12 | 0,16 | 0,50 | 100,08 |
| У-7/3 | 55,58 | 2,52 | 0,11 | 9,75 | 14,76 | He опр. | 16,06 | 0,16 | 1,10 | 100,04 |
| У-7/4 | 48,73 | 8,62 | 0,11 | 8,39 | 12,66 | He опр. | 20,56 | 0,15 | 1,00 | 100,21 |
| У-7/5 | 45,19 | 9,71 | 0,14 | 7,94 | 12,89 | He опр. | 21,76 | 0,15 | 2,50 | 100,27 |
| У-7/6 | 59,60 | 1,12 | 0,10 | 10,20 | 14,79 | He опр. | 14,22 | 0,15 | 0,00 | 100,18 |
| У-7/7 | 57,04 | 2,41 | 0,12 | 11,79 | 14,07 | He опр. | 14,03 | 0,15 | 0,50 | 100,12 |
| У-51/1 | 53,64 | 2,12 | 0,17 | 14,32 | 15,61 | He опр. | 14,06 | 0,16 | 0,10 | 100,17 |
| У-51/2 | 54,88 | 2,38 | 0,16 | 13,44 | 14,28 | He опр. | 15,04 | 0,14 | 0,00 | 100,32 |
| У-54/1 | 36,53 | 15,26 | 0,17 | 8,03 | 11,34 | He опр. | 26,02 | 0,13 | 2,70 | 100,17 |
| У-59/2 | 36,54 | 13,33 | 0,18 | 8,80 | 14,16 | He опр. | 24,29 | 0,15 | 2,80 | 100,25 |
| У-64/2 | 34,09 | 15,11 | 0,16 | 7,74 | 13,88 | He опр. | 27,71 | 0,14 | 1,70 | 100,53 |
| У-64/3 | 51,08 | 4,10 | 0,16 | 11,63 | 17,46 | He опр. | 15,29 | 0,20 | 0,70 | 100,63 |
| У-93/1 | 18,11 | 28,00 | 0,10 | 3,59 | 11,03 | 0,31 | 33,77 | 0,14 | 5,50 | 100,54 |
| У-162-1 | 12,00 | 29,78 | 0,07 | 4,71 | 11,19 | 0,30 | 37,55 | 0,14 | 5,00 | 100,75 |
| У-167-1 | 52,30 | 4,96 | 0,14 | 10,61 | 13,46 | 0,19 | 17,54 | 0,15 | 0,90 | 100,26 |
| У-167-2 | 47,15 | 7,80 | 0,13 | 9,78 | 13,00 | 0,25 | 21,05 | 0,15 | 1,30 | 100,60 |
| У-521-2 | 51,27 | 4,99 | 0,19 | 11,53 | 16,39 | 0,17 | 15,08 | 0,17 | 0,40 | 100,19 |
| У-523-2 | 50,26 | 5,16 | 0,19 | 12,54 | 15,89 | 0,17 | 14,89 | 0,16 | 0,90 | 100,16 |
| У-524-3 | 22,52 | 29,54 | 0,14 | 5,92 | 11,29 | 0,22 | 24,40 | 0,14 | 5,90 | 100,07 |
| У-524-4 | 20,89 | 31,07 | 0,13 | 5,35 | 10,24 | 0,32 | 25,40 | 0,12 | 6,50 | 100,02 |
| У-563-1 | 52,32 | 5,27 | 0,14 | 11,72 | 15,47 | 0,15 | 14,47 | 0,19 | 0,60 | 100,33 |
| У-565-2 | 33,00 | 22,12 | 0,15 | 8,61 | 12,42 | 0,16 | 20,57 | 0,16 | 3,40 | 100,59 |

| № обр. | Cr ₂ O ₃ | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | FeO _{сум} | CaO | MgO | MnO | П.п.п. | Сумма |
|-----------|--------------------------------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------|---------|-------|---------|--------|--------|
| У-569-1 | 38,85 | 14,80 | 0,09 | 8,38 | 17,29 | 0,18 | 18,30 | 0,21 | 2,10 | 100,20 |
| У-569-2 | 38,94 | 14,67 | 0,10 | 7,78 | 16,80 | 0,19 | 19,87 | 0,20 | 1,50 | 100,05 |
| У-570-1 | 44,68 | 9,72 | 0,14 | 11,18 | 15,48 | 0,19 | 17,00 | 0,27 | 1,40 | 100,06 |
| У-570-2 | 35,50 | 19,83 | 0,09 | 5,14 | 15,09 | 0,15 | 20,63 | 0,18 | 3,90 | 100,51 |
| У-587-2 | 37,83 | 17,04 | 0,12 | 9,88 | 12,81 | 0,16 | 19,93 | 0,15 | 2,40 | 100,31 |
| У-589-1 | 37,11 | 16,97 | 0,12 | 4,36 | 14,20 | He onp. | 25,16 | 0,17 | 2,60 | 100,69 |
| У-589-2 | 43,23 | 10,92 | 0,14 | 6,26 | 16,78 | He onp. | 21,01 | 0,20 | 2,00 | 100,53 |
| У-630-2 | 46,84 | 5,09 | 0,23 | 9,61 | 18,16 | He onp. | 19,54 | 0,17 | 0,70 | 100,34 |
| У-630-3 | 47,73 | 5,71 | 0,22 | 9,90 | 17,69 | He onp. | 18,09 | 0,17 | 0,60 | 100,11 |
| У-631-2 | 42,95 | 8,91 | 0,19 | 8,75 | 17,59 | He onp. | 20,29 | 0,17 | 1,30 | 100,15 |
| У-1080-3 | 48,92 | 1,93 | 0,11 | 16,00 | 17,53 | He onp. | 15,42 | 0,16 | 0,00 | 100,08 |
| У-1080-4 | 23,58 | 23,95 | 0,09 | 3,47 | 13,02 | He onp. | 33,28 | 0,16 | 2,80 | 100,35 |
| У-1084-2 | 44,12 | 9,93 | 0,10 | 8,70 | 16,46 | He onp. | 19,11 | 0,18 | 1,50 | 100,10 |
| У-1096-2 | 51,45 | 3,78 | 0,12 | 10,52 | 15,97 | He onp. | 17,03 | 0,18 | 1,05 | 100,10 |
| У-1152-2 | 1,48 | 37,57 | 0,04 | 1,07 | 8,27 | 0,13 | 45,00 | 0,11 | 6,70 | 100,36 |
| У-1153-1 | 42,12 | 13,53 | 0,12 | 6,64 | 14,25 | He onp. | 20,67 | 0,17 | 2,90 | 100,40 |
| У-1153-2 | 53,10 | 2,78 | 0,14 | 11,62 | 15,44 | He onp. | 17,05 | 0,16 | 0,40 | 100,68 |
| У-1153-3 | 54,00 | 0,90 | 0,13 | 15,76 | 16,76 | He onp. | 12,53 | 0,19 | 0,00 | 100,27 |
| У-1190-4 | 28,38 | 24,17 | 0,10 | 3,37 | 10,87 | He onp. | 29,03 | 0,15 | 4,40 | 100,47 |
| У-1234-3 | 51,01 | 3,65 | 0,13 | 14,45 | 15,43 | He onp. | 15,09 | 0,17 | 0,30 | 100,23 |
| Р-5045/38 | 12,67 | 27,42 | 0,05 | 3,61 | 9,32 | 4,03 | 36,89 | He onp. | 4,94 | 98,93 |
| Р-5068/28 | 11,91 | 27,60 | 0,06 | 3,61 | 8,84 | 0,56 | 39,87 | He onp. | 6,18 | 98,63 |
| Р-5068/29 | 31,40 | 15,48 | 0,08 | 7,73 | 10,58 | 0,58 | 28,41 | He onp. | 4,62 | 98,88 |
| Р-5068/30 | 20,01 | 23,44 | 0,07 | 4,64 | 10,69 | 2,30 | 31,83 | He onp. | 6,88 | 99,86 |
| Р-5068/31 | 36,00 | 12,12 | 0,09 | 7,22 | 12,71 | 1,73 | 24,80 | He onp. | 5,02 | 99,69 |
| Р-5068/32 | 43,01 | 8,64 | 0,11 | 9,20 | 13,45 | 0,58 | 21,70 | He onp. | 3,88 | 100,57 |
| Р-5601/12 | 39,77 | 11,04 | 0,08 | 9,79 | 11,72 | 0,58 | 22,32 | He onp. | 4,26 | 99,56 |

Окончание прилож. б

| № обр. | Cr ₂ O ₃ | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | FeO _{сум} | CaO | MgO | MnO | П.п.п. | Сумма |
|-----------|--------------------------------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------|------|-------|---------|--------|--------|
| P-5601/13 | 38,25 | 11,12 | 0,07 | 7,73 | 12,01 | 0,58 | 24,59 | He опр. | 4,56 | 98,91 |
| P-5609/13 | 38,16 | 11,20 | 0,07 | 8,76 | 13,16 | 0,29 | 24,39 | He опр. | 4,02 | 100,05 |
| P-5609/14 | 31,16 | 15,52 | 0,07 | 7,73 | 10,56 | 0,58 | 27,70 | He опр. | 6,70 | 100,02 |
| P-5610/15 | 26,00 | 18,40 | 0,07 | 7,02 | 9,96 | 0,10 | 30,59 | He опр. | 8,32 | 100,46 |
| P-5610/17 | 24,32 | 19,88 | 0,03 | 6,70 | 9,57 | 0,58 | 29,76 | He опр. | 8,60 | 99,44 |
| 4073-а | 50,15 | 6,04 | 0,12 | 7,20 | 13,32 | 0,30 | 18,11 | 0,16 | 3,56 | 13,32 |
| 4073-б | 54,97 | 2,52 | 0,13 | 7,73 | 13,88 | 0,05 | 17,30 | 0,18 | 1,24 | 13,88 |
| 4074 | 57,50 | 1,88 | 0,10 | 7,75 | 13,60 | 2,00 | 15,87 | 0,14 | 0,66 | 13,60 |
| 4075 | 56,23 | 2,60 | 0,08 | 8,02 | 12,98 | 0,05 | 18,11 | 0,14 | 1,66 | 12,98 |
| 4076 | 57,80 | 2,26 | 0,10 | 7,51 | 13,43 | 0,86 | 16,28 | 0,16 | 1,10 | 13,43 |
| 4077 | 53,45 | 5,92 | 0,11 | 5,66 | 12,38 | 0,05 | 18,11 | 0,16 | 2,62 | 12,38 |
| 4078 | 53,70 | 4,16 | 0,08 | 8,28 | 14,26 | 0,28 | 17,09 | 0,16 | 1,38 | 14,26 |

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Алимов В.Ю. Деформационный механизм формирования хромитового оруденения в альпинотипных ультрабазитах // Рудогенез. Мат-лы междунар. конф. Миасс–Екатеринбург: УрО РАН, 2008. С. 3–7.

Алимов В.Ю., Вахрушева Н.В. Природа равновесности микроструктур в породах и рудах хромитоносных комплексов // Петрогенезис и рудообразование: Материалы международной конференции XIV Чтения памяти А.Н. Заварицкого. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2009. С. 139–142.

Алимов В.Ю., Вахрушева Н.В. Разработка минералого-петрохимических критериев локализации различных типов хромитового оруденения в северной части Войкаро-Сыньинского гипербазитового массива. Отчет о научно-исследовательской работе. Свердловск, 1990. В 2-х книгах. (Не опубли.)

Алимов В.Ю., Вахрушева Н.В. Спектры РЗЭ как индикатор типа и интенсивности деформаций (на примере хромитоносных альпинотипных ультрамафитов) // Современные проблемы геохимии: Материалы Всероссийского совещания. Иркутск: Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2012. Т. 2. С. 4–7.

Алимов В.Ю., Вахрушева Н.В. Способ поиска хромитоносных зон в альпинотипных гипербазитах. Патент на изобретение № 2018888. 1994 г.

Алимов В.Ю., Чацухин И.С., Вахрушева Н.В. О составе микровключений хромшпинелидов в минералах несерпентинизированных гипербазитов Кемпирсайского массива. Минералогия Урала: тезисы докладов Первого уральского совещания. Свердловск, 1986.

Андреичев В.Л., Удортина О.В. Новые данные о возрасте гранитоидов конгорского комплекса // Изотопное датирование геол. процессов: новые методы и результаты. М., 2000. С. 28–30.

Балашов Ю.А., Ферштатер Г.Б., Краснобаев А.А., Беа Ф., Монтеро П. Вариации летучести кислорода в мантийных и коровых системах Урала // Вестник КНЦ РАН. 2012. № 3. С. 3–8.

Батанова В.Г., Брюгманн Г., Савельева Г.Н., Соболев А.В. Использование Re-Os изотопной системы для датирования мантийных процессов, на примере офиолитовых комплексов // Ультрабазит-базитовые комплексы складчатых областей и связанные с ними месторождения: Материалы III международной конференции. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2009. Т. 1. С. 77–80.

Берлянд Н.Г. Развитие земной коры Уральской эвгеосинклинали по геофизическим данным // Сов. геология. 1981. № 8. С. 71–81.

Брянчинова Н.И., Макеев А.Б., Зубкова Н.В., Филиппов В.Н. Натрий-стронциевая слюда – $\text{Na}_{0.50}\text{Sr}_{0.25}\text{Al}_2(\text{Na}_{0.25-0.75})[\text{Al}_{1.25}\text{Si}_{2.75}\text{O}_{10}](\text{OH})_2$ из Рубинового Лога // Докл. РАН. 2004. Т. 395, № 1. С. 101–107.

Бужайките М.И., Виноградов В.И., Кулешов В.Н., Покровский Б.Г., Савельев А.А., Савельева Г.Н. Геохимия изотопов в офиолитах Полярного Урала // Тр. ГИН АН СССР. 1983. Вып. 376. 183 с.

Вахрушева Н.В. Метаморфизм хромитоносных гипербазитов Полярного Урала: автореферат дис. ... канд. геол.-мин. наук. Екатеринбург, 1996. 24 с.

Вахрушева Н.В. Связь хромитового оруденения с метаморфизмом альпинотипных гипербазитов (Полярный Урал) // Уральская летняя минералогическая школа-97. УГГА. 1997. С. 50–53.

Вахрушева Н.В. Несерпентинизированные гарцбургиты и вебстериты Войкаро-Сыньинского массива: минералогия, геохимия, Sm-Nd возраст Ультрабазит-базитовые комплексы складчатых областей: Материалы 2-й международной конференции. Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2007. С. 293–296.

Вахрушева Н.В. Геохимические особенности рудовмещающих ультрамафитов и хромовых руд рудопроявлений Войкаро-Сыньинского и Рай-Изского массивов (Полярный Урал) // Поисковые геолого-геохимические модели рудных месторождений: Материалы II Всероссийской конференции по прикладной геохимии. Воронеж, 2009. С. 165–167.

Вахрушева Н.В. Распределение редкоземельных элементов в рудовмещающих ультрамафитах хромитоносных массивов Полярного Урала // Ультрабазит-базитовые комплексы складчатых областей и связанные с ними месторождения: Материалы III международной конференции. Екатеринбург: УрО РАН, 2009. Т. 1. С. 105–107.

Вахрушева Н.В., Алимов В.Ю., Гмыра В.Г. Состав амфиболов в хромитоносных гипербазитах Войкаро-Сыньинского массива. // Ежегодник-1990. Институт геологии и геохимии УрО АН СССР. Свердловск, 1991. С. 92–94.

Вахрушева Н.В., Алимов В.Ю. О локальной изменчивости спектров редкоземельных элементов в хромитоносных ультрамафитах Полярного Урала // Литосфера. 2014. № 1. С. 41–57.

Вахрушева Н.В., Богданова А.Р. Амфиболы из хромитов и околорудных ультрамафитов месторождения Центральное (массив Рай-Из) // Вестник Уральского отделения РМО. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2016. № 13. С. 18–22.

Вахрушева Н.В., Давыдов В.А., Степанов А.Е., Алимов В.Ю., Ширяев П.Б., Максимчук Н.А. Геологический отчет по результатам и объемам геолого-поисковых работ и специализированных геологических исследований, выполненных в 2011–2012 гг. по объекту: «Проведение поисковых и оценочных работ на хромовые руды в пределах Юго-Западного рудного поля в Ямало-Ненецком автономном округе». Екатеринбург, 2012. В 3-х томах. (Не опубликовано.)

Вахрушева Н.В., Иванов К.С., Ерохин Ю.В., Ронкин Ю.Л. Распределение РЗЭ в ультрамафитах и рудообразующих хромовых шпинелях Войкаро-Сыньинского массива // Офиолиты: геология, петрология, металлогения и геодинамика: Материалы международной конференции XII Чтения А.Н. Заварицкого. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2006. С. 92–95.

Вахрушева Н.В., Иванов К.С., Степанов А.Е., Шокальский С.П., Азанов А.Н, Хиллер В.В., Ширяев П.Б. Плаггиоклазиты из хромитоносных ультрамафитов массива Рай-Из // Литосфера. 2016. № 5. С. 134–145.

Вахрушева Н.В., Максимчук Н.А., Ширяев П.Б. Отчет о результатах выполнения работ по технологическому картированию и прогнозу изменчивости обогатимости хромовых руд на проявлениях Южного рудного поля в сравнении с разрабатываемым месторождением-аналогом Центральным массива Рай-Из за 2008–2009 гг. Екатеринбург, 2009. (Не опубликовано.)

Вахрушева Н.В., Максимчук Н.А., Ширяев П.Б. Отчет о результатах выполнения работ по технологическому картированию и прогнозу изменчивости обогатимости хромовых руд на флангах и глубоких горизонтах м-ия Центральное массива Рай-Из в сравнении с его разрабатываемыми верхними горизонтами. Екатеринбург, 2010. (Не опубликовано.)

Вахрушева Н.В., Ширяев П.Б., Максимчук Н.А. Отчет о результатах и объемах проведения поисковых работ и специализированных геологических исследований по объ-

екту «Поисково-оценочные работы на рудопроявлениях Енгайского участка массива Рай-Из». Екатеринбург, 2009. В 3-х томах. (Не опубликовано.)

Вахрушева Н.В., Ширяев П.Б. Отчет по составлению раздела «Геологическое строение района и Юго-Западного рудного поля в Ямало-Ненецком автономном округе» в ТЭО временных кондиций и в отчет по поисково-оценочным работам. Екатеринбург, 2015. (Не опубликовано.)

Волович Е.В., Дембовский Б.Я. Хараматолоуский разлом // Материалы Уральской конференции молодых геологов и геофизиков. Свердловск, 1977. С. 61–62.

Вотяков С.Л., Чащухин И.С., Уймин С.Г., Быков В.Н. Окситермобарометрия хромитоносных ультрамафитов (на примере Урала). 1. ЯГР-спектроскопия хромшпинелидов и проблемы оливин-хромшпинелевой геотермометрии // Геохимия. 1998. № 8. С. 791–802.

Геншафт Ю.С., Цельмович В.А., Гапеев А.К., Солодовников Г.М. Значение Fe-Ti оксидных минералов в науках о земле // Вестник ОГГГН РАН. 1999. № 1(7).

Дергунов А.Б., Казак А.П., Молдаванцев Ю.Е. Серпентинитовый меланж и структурное положение гипербазитового массива Рай-Из (Полярный Урал) // Геотектоника. 1975. № 1. С. 28–34.

Дорошев А.М., Брай Г.П., Гирнис А.В., Туркин А.И., Козарко Л.Н. Гранаты пироп-кноррингитового ряда в условиях мантии Земли: экспериментальное изучение в системе MgO-Al₂O₃-SiO₂-Cr₂O₃ // Геология и геофизика. 1997. Т. 38, № 2. С. 523–545.

Ефимов А.А. Генезис жильных плагиоклазитов черноисточинского ареала в Тагильском массиве (платиноносный пояс Урала): десиликация плагиогранитного протолита в габбро // Литосфера. 2003. № 3. С. 41–62.

Ефимов А.А., Потапова Т.А. Жильная плагиоклазитовая серия Качканарского массива (Урал) – продукт десиликации плагиогранитного штокверка // Региональная геология и металлогения. 2002. № 15. С. 45–57.

Заварицкий А.Н. Перидотитовый массив Рай-Из в Полярном Урале. М.-Л.: Гос. науч.-технич. изд-во, 1932. 221 с.

Иванов К.С. Основные черты геологической истории (1,6–0,2 млрд лет) и строения Урала. Екатеринбург: УрО РАН, 1998. 252 с.

Иванов К.С. Оценка палеоскоростей субдукции и коллизии при формировании Урала // Докл. РАН. 2001. Т. 377, № 2. С. 231–235.

Камерон Ю.Н., Десборо Дж.А. Условия залегания и особенности хромитовых месторождений восточной части Бушвельдского комплекса // В кн. Магматические рудные месторождения. Под ред. акад. В.И. Смирнова. М.: Недра, 1973. С. 26–42.

Кашинцев Г.Л., Кузнецов И.Е., Рудник Г.Б. Типы пространственной ориентировки оливинов в гипербазитах массива Рай-Из (Полярный Урал) // Вестн. МГУ. Сер. геол. 1971. № 2. С. 195–199.

Кашинцев Г.Л., Кузнецов И.Е., Рудник Г.Б. Особенности метасоматитового преобразования гипербазитов массива Рай-Из (Полярный Урал) // Асбесты СССР. М., 1974. Вып. 1. С. 155–164.

Королев А.М., Качанов М.И. Поисковые работы на марганцевые руды в северном обрамлении массива Рай-Из. Информационный отчет, 1990. (Не опубликовано.)

Кузнецов Н.Б., Романюк Т.В. Палеозойская эволюция Полярного Урала: войкарский бассейн с корой океанического типа существовал не менее 65 млн лет // Бюл. МОИП. Отд. геол. 2014. Т. 89, № 5. С. 56–70.

Кучерина П.М., Попов И.И. и др. Геологическое строение и полезные ископаемые северо-западной части Войкарского синклинали, площади массива Рай-Из и его обрамления. Отчет Хараматолоуской партии по работе «Производство геологического доизучения масштаба 1:50000, листы Q-41-46-Б-г,В,Г; Q-41-47, проведенного в 1982–1991 гг.», в 4-х томах и 16 книгах. Пос. Полярный, 1991. (Не опубликовано.)

Лазько Е.Е. Петрология, формационная принадлежность и критерии рудоносности ультрамафитов офиолитов // Роль магматизма в эволюции литосферы. М.: Наука, 1984. С. 3-80.

Леснов Ф.П., Палесский С.В., Николаева И.В., Козьменко О.А., Кучкин А.М., Королук В.Н. Детальные минералого-геохимические исследования крупного ксенолита шпинелевых лерцолитов из щелочных базальтов палеовулкана Шаварын Царам (Монголия) // Геохимия. 2009. № 1. С. 21-44.

Макеев А.Б., Перевозчиков Б.В., Афанасьев А.К. Хромотоносность Полярного Урала. Сыктывкар: Коми фил. АН СССР, 1985. 152 с.

Макеев А.Б. Минералогия альпинотипных ультрабазитов. СПб: Наука, 1992. 197 с.

Макеев А.Б., Брячаннинова Н.И. Топоминералогия ультрабазитов Полярного Урала. СПб.: Наука. 1999. 198 с.

Маракушев А.А., Панях Н.А., Горбачев Н.С., Зотов И.А. Минералого-геохимическая специфика гигантских месторождений хрома и платиновых металлов и проблема глубинности их мантийных источников // Крупные и суперкрупные месторождения: Закономерности размещения и условия образования. М.: ОНЗ РАН, 2004. С. 137-159.

Молдаванцев Ю.Е. Особенности проявлений интрузивного магматизма на Полярном Урале // Магматизм и связь с ним полезных ископаемых. М., 1960. С. 412-415.

Молдаванцев Ю.Е. Магматизм северной части Урала и некоторые черты связанной с ним металлогении // Магматизм, метаморфизм, металлогения Урала. Свердловск, 1963. С. 139-151. (Тр. 1 Уральского петрограф. совещания, т. 1).

Никольская Н.Е., Домрачев С.Л., Бединов В.В. Локальный прогноз хромитового оруденения в пределах северной части Райизкого и Сьумкеуского ультраосновных массивов с целью конкретизации участков для проведения поисковых работ. Отчет по Государственному контракту № 1-18/12 от 02.04.2012 г. ФГУП ВИМС, ФГУНПП Геологоразведка. Москва, 2014. В 4 книгах. (Не опубликовано.)

Павлов Н.В. Химический состав хромшпинелидов в связи с петрографическим составом пород ультраосновных интрузивов // Труды Института геол. наук. 1949. Вып. 103, серия рудных месторождений. № 13. 91 с.

Павлов Н.В., Кравченко Г.Г., Чупрынина И.И. Хромиты Кемпирсайского плутона. М.: Наука, 1968. 178 с.

Перевозчиков Б.В., Овечкин А.М., Кениг В.В. Отчет о поисково-оценочных работах на хромиты в пределах Южного рудного поля Райизского массива за 1978-1980 гг. 1981. Пос. Полярный. (Не опубликовано.)

Перевозчиков Б.В. Закономерности локализации хромитового оруденения в альпинотипных гипербазитах (на примере Урала) // Геология, методы поисков, разведки и оценки месторождений твердых полезных ископаемых. Обзорная информация. Вып. 7. М.: АОЗТ «Геоинформмарк», 1995. 46 с.

Перевозчиков Б.В., Кениг В.В., Лукин А.А., Овечкин А.М. Хромиты массива Рай-Из на Полярном Урале (Россия) // Геология рудных месторождений. 2005. Т. 47, № 3. С. 230-248.

Перфильев А.С. Особенности тектоники Севера Урала. М.: Наука, 1968. 260 с.

Перфильев А.С. Формирование земной коры Уральской эвгеосинклинали. М.: Наука, 1979. 188 с. (Тр. ГИН; вып. 328).

Петрология и метаморфизм древних офиолитов (на примере Полярного Урала и Западного Саяна) / Н.Л. Добрецов, Ю.Е. Молдаванцев, А.П. Казак, Л.Г. Пономарева, Г.Н. Савельева, А.А. Савельев. Сиб. отд-ние: Наука, 1977. 220 с. (Тр. ИГ и Г СО АН СССР, Вып. 368).

Прямоносов А.П., Степанов А.Е., Бороздина Г.Н. О возрасте хараматолоуской серии (Полярный Урал) // Уральский геологический журнал. 2000. № 2. С. 51-54.

Прямоносов А.П., Степанов А.Е., Телегина Т.В., Кузнецов В.И. Отчет “Геологическое доизучение масштаба 1:200 000 и подготовка к изданию Госгеолкарты-200 (новая серия) Пайпудынской площади, лист Q-41-XII на Полярном Урале”. Екатеринбург, 2001. 263 с. (Не опубликовано.)

Пучков В.Н. Батильные комплексы пассивных окраин геосинклинальных областей. М.: Наука, 1979. 260 с.

Реестр хромитопроявлений в альпинотипных ультрабазитах Урала / Под ред. Б.В. Перевозчикова. Пермь: КамНИИКИГС, 2000. 474 с.

Ремизов Д.Н., Григорьев С.И., Петров С.Ю., Косьянов А.О., Носиков М.В., Сергеев С.А. Новые данные о возрасте габброидов кэршорского комплекса на Полярном Урале // Доклады АН. 2010. Т. 434, № 2. С. 238–242.

Ронкин Ю.Л., Прямоносов А.П., Телегина Т.В., Лепихина О.П. Дунит-гарцбургитовый и дунит-верлит-клинопироксенит-габбровый комплексы Полярного Урала: REE и Sr-Nd ограничения // Изотопное датирование геологических процессов: новые методы и результаты: тезисы докладов I Российской конференции по изотопной геохронологии. Москва, ИГЕМ РАН. М.: ГЕОС, 2000. С. 302–305.

Савельев Д.Е., Пучков В.Н., Сергеев С.Н., Мусабилов И.И. О деформационно-индуцированном распаде энстатита в мантийных перидотитах и его значении для процессов частичного плавления и хромитообразования // Доклады АН. 2017. Т. 476, № 2. С. 200–204.

Савельев Д.Е., Сначев В.И., Савельева Н.Е., Бажин Е.А. Геология, петрогеохимия и хромитоносность габбро-гипербазитовых массивов Южного Урала. Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2008. 320 с.

Савельева Г.Н. Габбро-ультрабазитовые комплексы офиолитов Урала и их аналоги в современной океанической коре. М.: Наука, 1987. 244 с.

Савельева Г.Н., Савельев А.А., Перцев А.Н. Метаморфизм в истории офиолитов // Геотектоника. 1995. № 2. С. 15–28.

Савельева Г.Н., Батанова В.Г., Кузьмин Д.В., Соболев А.В. Состав минералов мантийных перидотитов как отражение рудообразующих процессов в мантии (на примере офиолитов Войкаро-Сынинского и Кемпирсайского массивов) // Литология и полезные ископаемые. 2015. № 1. С. 87–98.

Савельева Г.Н., Батанова В.Г., Соболев А.А. Твердофазовый распад пироксен-хромшпинель в мантийных лерцолитах офиолитового массива Сьум-Кеу на Полярном Урале // Геология и геофизика. 2016. Т. 57, № 10. С. 1808–1827.

Савельева Г.Н., Перцев А.Н. Мантийные ультрамафиты в офиолитах Южного Урала, Кимперсайский массив // Петрология. 1995. Т. 3, № 2. С. 115–132.

Савельева Г.Н., Степанов С.С. Эволюция энстатитов при высокотемпературных деформациях гарцбургитов Войкаро-Сынинского массива (Полярный Урал) // Изв. АН СССР. Серия геол. 1979. № 2. С. 47–55.

Самсонов Г.П., Чукунов Г.П., Ситников В.М. Отчет о детальной разведке южного фланга месторождения хромитовых руд «Алмаз-Жемчужина» (поле шахты «Глубокая») в Южно-Кемпирсайском рудном районе за 1976–1983 гг. Восточно-Уральская ГРЭ, пос. Донское, 1983 (Не опубликовано.)

Селиванов Р.А., Вахрушева Н.В. Особенности локализации хромового оруденения Енгайского рудного поля // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. Екатеринбург: УГГУ, 2010. № 2. С. 91–98.

Сорокин Ю.П., Перевозчиков Б.В. Рубин (алмазный шпат) из слюдитов гипербазитового массива Рай-Из (Полярный Урал) // Записки ВМО. 1973. Т. 102, № 6. С. 692–696.

Строение, эволюция и минерогения гипербазитового массива Рай-Из / Под ред. В.Н. Пучкова и Д.С. Штейнберга. Свердловск: УрО АН СССР. 1990. 228 с.

Суставов С.Г., Вахрушева Н.В. Хромовый рутил в хромититах Енгайской площади массива Рай-Из. // Вестник УрО Минералогического общества РАН, 2010. № 7. С. 159–162.

Туркин А.И. Хромсодержащие гранаты и шпинели как минералы-индикаторы *P-T* условий формирования перидотитов (экспериментальное исследование): автореферат дис. ... доктора геол.-мин. наук. Новосибирск, 2011. 35 с.

Удовкина Н.Г. Эклогиты СССР. М.: Наука, 1985.

Удортатина О.В., Кузнецов Н.Б. Собский плагиогранитный комплекс Полярного Урала // Бюл. МОИП. Отд. геол. 2007. Т. 82, № 3. С. 49–59.

Ферштатер Г.Б. Палеозойский интрузивный магматизм Среднего и Южного Урала. Екатеринбург: РИО УрО РАН, 2013. 368 с.

Ферштатер Г.Б., Беа Ф., Бородин Н.С., Монтеро М.П. Анатексис базитов в зоне палеосубдукции и происхождение анортозит-плагиогранитной серии Платиноносного пояса Урала // Геохимия. 1998. № 8. С. 768–781.

Формирование земной коры Урала / С.Н. Иванов, В.Н. Пучков, К.С. Иванов и др. М.: Наука, 1986. 248 с.

Царицын Е.П., Алимов В.Ю., Шерстобитова Л.А., Яблонская Л.В. Метаморфизм хромшпинелидов в гипербазитах массива Рай-Из // Ежегодник-1980. ИГГ УНЦ АН СССР. Свердловск, 1981. С. 109–111.

Царицын Е.П., Алимов В.Ю. Оливин-хромшпинелевые парагенезисы в гипербазитах Кемпирсайского массива // Минералы и парагенезисы минералов. 1983. С. 87–102.

Царицын Е.П., Чащухин И.С. Место хромитового оруденения в геологической структуре и истории формирования Рай-изского ультраосновного массива. Отчет по специализированным тематическим работам. Свердловск, 1980. В 2-х книгах. (Не опубл.)

Царицын Е.П., Чащухин И.С. Акцессорные хромшпинелиды в условиях метаморфизма альпийотипных гипербазитов // Акцессорные минералы докембрия. М., 1986. С. 189–194.

Чащухин И.С. О поведении редких элементов при ранней серпентинизации ультрамафитов // Ежегодник-2011. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2012. С. 125–128.

Чащухин И.С., Вотяков С.Л., Уймин С.Г., Борисов Д.Р., Быков В.Н. ЯГР-спектроскопия хромшпинелидов и проблемы окситермобарометрии хромитоносных ультрамафитов Урала. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 1996. 136 с.

Чащухин И.С., Вотяков С.Л., Шапова Ю.Л. Кристаллохимия хромшпинели и окситермобарометрия ультрамафитов складчатых областей. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2007. 310 с.

Чащухин И.С., Первозчиков Б.В., Царицын Е.П. Метаморфизм гипербазитов массива Рай-Из (Полярный Урал) // Исследования по петрологии и металлогении Урала. Свердловск, 1986. С. 49–75.

Ширяев П.Б., Вахрушева Н.В. Окислительно-восстановительное состояние хромовых руд Енгайского участка массива Рай-Из // Вестник УрО Минобщества РАН, 2009. № 6. С. 143–145.

Ширяев П.Б., Вахрушева Н.В. Особенности окислительно-восстановительного состояния хромовых руд массивов Рай-Из и Войкаро-Сыньинский (Полярный Урал) // Петрогенезис и рудообразование: Материалы международной конференции XIV Чтения памяти А.Н.Заварицкого. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2009. С. 234–237.

Ширяев П.Б., Вахрушева Н.В., Никандрова Н.К. Окислительно-восстановительное состояние хромовых руд южной части массива Рай-Из // Геодинамика, рудные месторождения и глубинное строение литосферы: Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием XV Чтения памяти А.Н. Заварицкого. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2012. С. 284–286.

Ширяев П.Б., Вахрушева Н.В. Элементы-примеси в оливинах из хромовых руд и ультрамафитов Полярного Урала // Ежегодник-2013. Тр. ИГГ УрО РАН. Вып. 161. 2014. С. 336–338.

Ширяев П.Б., Вахрушева Н.В. Оливин-хромшпинелевое равновесие в хромититах и ультрамафитах массива Рай-Из, Полярный Урал // Литосфера. 2016. № 2. С. 107–110.

Ширяев П.Б., Вахрушева Н.В. Химическая зональность шпинелей и оливинов из хромититов и вмещающих ультрамафитов месторождения Центральное, массива Рай-Из. // Вестник Уральского отделения Российского минералогического общества. 2016. Вып. 13. С. 145–155.

Шмелев В.Р. О внутреннем строении массива Рай-Из (по результатам изучения микроструктур пород) // Ежегодник-1980. Свердловск: ИГГ УНЦ АН СССР, 1981. С. 77–99.

Шмелев В.Р. Мантийные ультрабазиты офиолитовых комплексов Полярного Урала: петрогенезис и обстановка формирования // Петрология. 2011. Том 19, № 6. С. 649–672.

Шмелев В.Р., Мон Ф.-Ц. Природа и возраст базитов офиолитового массива Рай-Из (Полярный Урал) // Доклады РАН. 2013. Т. 451, № 2. С. 211–215.

Шмелев В.Р., Пучков В.Н. Особенности тектоники гипербазитового массива Рай-Из // Геотектоника. 1986. № 9. С. 88–105.

Шуб В.С. Континентальные перерывы в домезозойской истории Урала. Вопросы геологической корреляции и металлогении Урала. М.: Геол. фонд РСФСР, 1983. С. 120–129.

Щербакова С.В. О двух типах рубиновой минерализации в ультраосновном массиве Рай-Из на Полярном Урале // Тр. ВСЕГЕИ. 1976. Т. 210. С. 111–119.

Щербакова С.В., Сутурин А.Н. Геохимия и минералогия метасоматитов с рубином (массив Рай-Из, Полярный Урал) // Геохимические поиски самоцветов. Новосибирск: Наука, 1990. С. 167–198.

Язева Р.Г., Бочкарев В.В. Войкарский вулcano-плутонический пояс (Полярный Урал). Свердловск: УНЦ АН СССР, 1984. 159 с.

Ярош П.Я., Царицын Е.П. Признаки перекристаллизации в оливинах из гипербазитов. // Закономерности размещения полезных ископаемых. М.: Наука, 1978. С. 223–230.

Юдович Я.Э., Андреичев В.Л., Мерц А.В., Кетрис М.П. Новые данные о возрасте метаморфизма доуралид Приполярного Урала. Магматические и метаморфические комплексы Севера Урала // Тр. ИГ Коми НЦ УрО РАН СССР. 1995. Вып. 87. С. 52–67.

Arai S., Miura M. Formation and modification of chromitites in the mantle // Lithos, 2016. Vol. 264. P. 277–295.

Ballhaus C., Berry R., Green D. High pressure experimental calibration of the olivine-orthopyroxene-spinel oxygen geobarometer: implication for the oxidation state of the upper mantle // Contrib. Mineral. Petrol. 1991. Vol. 107. P. 27–40.

Barnes S.J. and Roeder P.L. The range of spinel compositions in terrestrial mafic and ultramafic rocks // Journal of Petrology, 2001. Vol. 42. P. 2279–2302.

Bliss N.W., MacLean W.H. The paragenesis of zoned chromite from central Manitoba // Geochimica et Cosmochimica Acta. 1975. Vol. 39. P. 973–990.

Colás V., González-Jiménez J.M., Griffin W.L., Fanlo I., Gervilla F., O'Reilly S.Y., Pearson N.J., Kerededjian Th., Proenza J.A. Fingerprints of metamorphism in chromite: New insights from minor and trace elements // Chemical Geology, 2014. Vol. 389. P. 137–152.

Dare S.A.S., Pearce J.A., McDonald I., Styles M.T. Tectonic discrimination of peridotites using fO₂-Cr# and Ga-Ti-Fe^{III} systematics in chrome-spinel // Chemical Geology, 2009. Vol. 261. P. 199–216.

- Evans B.W., and Frost B.R. Chrome-spinel in progressive metamorphism – a preliminary analysis // *Geochim. Cosmochim. Acta*. 1975. Vol. 39. P. 959–972.
- Fuji T. (1978) Fe-Mg partitioning between olivine and spinel. *Carnegie Inst. Geophys Lab. Rep.* 1978. P. 563–569.
- Fumagalli P., Poli S., Fischer J., Merlini M., Gemmi M. The high-pressure stability of chlorite and other hydrates in subduction melanges: experiments in the system $\text{Cr}_2\text{O}_3\text{--MgO--Al}_2\text{O}_3\text{--SiO}_2\text{--H}_2\text{O}$ // *Contrib. Mineral. Petrol.* 2014. Vol. 167:979.
- Garrido C.J., López Sánchez-Vizcaíno V., Gómez-Pugnaire M.-T., Trommsdorff V., Alard O., Bodinier J.-L., Godard M. Enrichment of HFSE in chlorite-harzburgite produced by high-pressure dehydration of antigorite-serpentinite: Implications for subduction magmatism // *Geochem. Geophys. Geosyst.* 2005. Vol. 6, №1. Q01J15, doi:10.1029/2004GC000791.
- Garuti G., Pushkarev E.V., Thalhammer O.A.R., Zaccarini F. Chromitites of the Urals (Part 1): Overview of chromite mineral chemistry and geo-tectonic setting // *Ofioliti*. 2012. Vol. 37, № 1. P. 27–53.
- Hawthorne F.C., Oberti R., Harlow G.E., Maresch W.V., Martin R.F., Schumacher J.C., Welch M.D. Nomenclature of the amphibole supergroup // *American Mineralogist*. Vol. 97, 2012. P. 2031–2048.
- Holland T., Blundy J. Non-ideal interactions in calcic amphiboles and their bearing on amphibole-plagioclase thermometry // *Contrib. Mineral. Petrol.* 1994. Vol. 116. P. 433–447.
- Irvine T.N. Chromian spinel as a petrogenetic indicator. Part I: theory // *Canadian Journal of Earth Sciences*. 1965. V. 2. P. 648–672.
- Irvine T.N. Chromian spinel as a petrogenetic indicator. Part 2: petrologic applications // *Canadian Journal of Earth Sciences*. 1967. Vol. 4. P. 71–103.
- Ishii T., Robinson P.T., Maekawa H., Fiske R. Petrological studies of peridotites from diapiric serpentinite seamounts in the Izu-Ogasawara-Mariana forearc // *Proc. ODP. Sci. Res.* 1992. Vol. 125. P. 445–485.
- Ishimaru S., Arai S., Miura M., Shmelev V.R., Pushkarev E. Ruby-bearing feldspathic dike in peridotite from Ray-Iz ophiolite, the Polar Urals: Implications for mantle metasomatism and origin of ruby. *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*. 2015. Vol. 110. P. 76–81.
- Jenkins D.M. Stability and composition relations of calcic amphiboles in ultramafic rocks. // *Contrib. Mineral. Petrol.* 1983 Vol. 83. P. 375–384.
- Johnson C. Podiform Chromite at Voskhod, Kazakhstan. Unpublished PhD thesis, Cardiff University, 2012. 449 p.
- Kamenetsky V.S., Crawford A.J., Meffre S. Factors controlling chemistry of magmatic spinel: an empirical study of associated olivine, Cr-spinel and melt inclusions from primitive rocks // *Journal of Petrology*. 2001. Vol. 42. P. 655–671.
- Klemme S. The influence of Cr on the garnet-spinel transition in the Earth's mantle: experiments in the system $\text{MgO--Cr}_2\text{O}_3\text{--SiO}_2$ and thermodynamic modeling // *Lithos*. 2004. Vol. 77. P. 639–646.
- Leake B.E., Woolley A.R., Arps C.E.S., Birch W.D., Gilbert M.C., Grice J.D., Hawthorne F.C., Kato A., Kisch H.J., Krivovichev V.G., Linthout K., Laird J., Mandarino J.A., Maresch W.V., Nickel E.H., Rock N.M.S., Schumacher J.C., Smith D.C., Stephenson N.C.N., Ungaretti L., Whittaker E.J.W., Guo Y. Nomenclature of amphiboles: Report of the subcommittee on amphiboles of the International Mineralogical Association, Commission on New Minerals and Mineral Names // *Canadian Mineralogist*. 1997. Vol. 35. P. 219–246.
- Lehmann J. Diffusion between olivine and spinel application to geothermometry // *Earth Planet. Sci. Lett.* 1983. Vol. 64. P. 123–138.
- Liou J.G., Tsujimori T., Yang J., Zhang R.Y., Ernst W.G. Recycling of crustal materials through study of ultrahigh-pressure minerals in collisional orogens, ophiolites, and mantle xenoliths: A review // *Journal of Asian Earth Sciences*. 2014. Vol. 96. P. 386–420.

Lopez Sanchez-Vizcaino V., Trommsdorff V., Gomez-Pugnaire M.T., Garrido C.J., Müntener O. and Connolly J.A.D. Petrology of titanian clinohumite and olivine at the high-pressure breakdown of antigorite serpentinite to chlorite harzburgite (Almirez Massif, S. Spain). *Contrib. Mineral. Petrol.* 2005. Vol. 149. P. 627–646.

MacGregor I.D. The effect of CaO, Cr₂O₃, Fe₂O₃ and Al₂O₃ on the stability of spinel and garnet peridotites // *Phys. Earth Planet. Int.*, 1970. Vol. 3. P. 372–377.

Makeyev A.B. Typomorphic features of Cr–spinel and mineralogical prospecting guides for Cr ore mineralization. *Russian Journal of Earth Sciences*. 2006. (8), ES3002, doi:10.2205/2006ES000196.

McDonough W.F., Sun S.-S. The composition of the Earth // *Chemical Geology*. 1995. Vol. 120. P. 223–253.

Melcher F., Grum W., Simon G., Thalhammer T.F., Stumpfl E.F. Petrogenesis of the Ophiolitic Giant Chromite Deposits of Kempirsai, Kazakhstan: a Study of Solid and Fluid Inclusions in Chromite // *Journal of Petrology*. 1997. Vol. 38. Issue 10. P. 1419–1458.

Mercier J.-C.C. Single-pyroxene thermobarometry // *Tectonophysics*. 1980. Vol. 70. P. 1–37.

Monchoux P. Les lherzolites pyrénéennes: contribution à l'étude de leur minéralogie, de leur genèse et de leur transformations. Thèse de doctorat Toulouse. France: Univ. Paul Sabatier. 1970. 112 p.

Monchoux P., Fontan F., De Parseval Ph., Martin R.F., Wang R.Ch. Igneous albitite dikes in orogenic lherzolites, Western Pyrénées, France: A possible source for corundum and alkali feldspar xenocrysts in basaltic terranes. I. Mineralogical associations. *Canadian Mineralogist*. 2006. Vol. 44. P. 817–842.

Obata M., Thompson A.B. Amphibole and Chlorite in Marie and Ultramafic Rocks in the Lower Crust and Upper Mantle. A Theoretical Approach // *Contrib. Mineral. Petrol.* 1981. Vol. 77. P. 74–81.

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

Ozawa K. Olivine-spinel geospeedometry: Analysis of diffusion-controlled Mg-Fe²⁺ exchange // *Geochimica et Cosmochimica. Acta*. 1984. Vol. 48. P. 2591–2611.

Ozawa K. Stress-induced Al–Cr zoning of spinel in deformed peridotites // *Nature*. 1989. Vol. 338. P. 141–144.

Parkinson I.J., Arculus R.J. The redox state of subduction zones: insights from arc-peridotites // *Chem. Geol.* 1999. Vol. 160. P. 409–423.

Pearce J.A., Barker P.F., Edwards S.J., Parkinson I.J., Leat P.T. Geochemistry and tectonic significance of peridotites from the South Sandwich arc–basin system, South Atlantic. *Contrib. Mineral. Petrol.* 2000. Vol. 139. P. 36–53.

Pin C., Monchoux P., Paquette J.-L., Azambre B., Wang Ru Cheng & Martin R.F. Igneous albitite dikes in orogenic lherzolites, Western Pyrénées, France: a possible source for corundum and alkali feldspar xenocrysts in basaltic terranes. II. Geochemical and petrogenetic considerations. *Canadian Mineralogist*. 2006. Vol. 44. P. 837–850.

Robinson P.T., Trumbull R.B., Schmitt A., Yang J., Li J.-W., Zhou M.-F., Erzinger J., Dare S., Xiong F. The origin and significance of crustal minerals in ophiolitic chromitites and peridotites // *Gondwana Research*. 2015. Vol. 27. P. 486–506.

Roeder P.L., Campbell L.H. and Jamieson H.E. A re-evaluation of the olivine-spinel geothermometer // *Contrib. Mineral. Petrol.* 1979. Vol. 68. P. 325–334.

Sack R.O. Spinels as petrogenetic indicators: Activity-composition relations at low pressures // *Contributions to Mineralogy and Petrology*. 1982. Vol. 79. P. 169–182.

Satsukawa T., Piazzolo S., González-Jiménez J.M., Colás V., Griffin W.L., O'Reilly S.Y., Gervilla F., Fanlo I., Kerestedjian Th.N. Fluid-present deformation aids chemical

modification of chromite: Insights from chromites from Golyamo Kamenyane, SE Bulgaria // *Lithos*. 2015. Vol. 228–229. P. 78–89.

Schmidt M.W. Amphibole composition in tonalite as a function of pressure: an experimental calibration of the Al-in-hornblende barometer // *Contrib. Mineral. Petrol.* 1992. Vol. 110. P. 304–310.

Schmidt M.W. Phase relations and compositions in tonalite as a function of pressure: an experimental study at 650 °C // *Amer. Journal of Science*. 1993. Vol. 293. P. 1011–1060.

Sharma M., Wasserburg G.J., Papanastassiou D.A. et al. High $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ in extremely depleted mantle rocks. *Earth and Planet Science Lett.* 1995. Vol. 135. P. 101–114.

Shiryayev P.B., Vakhrusheva N.V. Chemical zoning of spinels and olivines from chromitites and the enclosing ultramafites of the Rai-Iz massif Tsentralnoye deposit (the Polar Urals). *Известия Уральского государственного горного университета*. 2017. № 4. С. 29–35.

Shmelev V.R., Perevozchikov B.V., Moloshag V.P. The Rai-Iz ophiolite massif in the Polar Urals: geology and chromite deposits. Field trip guidebook. 12th International Platinum Symposium. Yekaterinburg: IGG UB RAS, 2014. 44 p.

Sneath R. and Klemm D.D. Intrinsic oxygen fugacity measurements on chromites from the Bushveld Complex and their petrogenetic significance. *Contrib. Mineral. Petrol.* 1978. Vol. 67. P. 127–138.

Sun S.-S., McDonough W.F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implication for mantle composition and processes // *Magmatism in the ocean basin*. Geol. Soc. Sp. Publ. № 42. Blackwell Scientific Publ., 1989. P. 313–346.

Suzuki A.M., Yasuda A., Ozawa K. Cr and Al diffusion in chromite spinel: experimental determination and its implication for diffusion creep // *Phys. Chem. Minerals*. 2008. Vol. 35. P. 433–445.

Trommsdorff V., López-Sánchez Vizcaino V., Gómez-Pugnaire M.T. and Müntener O. High pressure breakdown of antigorite to spinifex-textured olivine and orthopyroxene, SE Spain // *Contrib. Mineral. Petrol.* 1998. Vol. 132. P. 139–148.

Van der Wal D., Bodinier J.-L. Origin of the recrystallisation front in the Ronda peridotite by km-scale pervasive porous melt flow // *Contrib. Mineral. Petrol.* 1996. Vol. 122. P. 387–405.

Vlassopoulos D., Rossman G.R., Haggerty S.E. Coupled substitution of H and minor elements in rutile and the implications of high OH contents in Nb- and Cr-rich rutile from the upper mantle // *American Mineralogist*. 1993. Vol. 78. P. 1181–1191.

Xu X.-Z., Cartigny P., Yang J.-S., Dilek Y., Xiong F. and Guo G. Fourier transform infrared spectroscopy data and carbon isotope characteristics of the ophiolite-hosted diamonds from the Luobusa ophiolite, Tibet, and Ray-Iz ophiolite, Polar Urals // *Lithosphere*. 2017. Vol. 10. P. 156–169.

Yang J., Bai W., Fang Q., Meng F., Chen S., Zhang Zh., Rong H. Discovery of diamond and an unusual mineral group from the podiform chromite ore Polar Ural // *Geology in China*. 2007. Vol. 34, № 5. P. 950–953.

Yang J., Meng A., Xu X., Robinson P.T., Dilek Y., Makeyev A.B., Wirth R., Wiedenbeck M., Griffin W.L., Cliff J. Diamonds, native elements and metal alloys from chromitites of the Ray-Iz ophiolite of the Polar Urals. 2015. *Gondwana Research* 27. P. 459–485.

Zhou M.-F., Robinson P.T., Malpas J., Edwards S.J., Qi L. REE and PGE geochemical constraints on the formation of dunites in the Luobusa ophiolite, Southern Tibet // *Jour. Petrology*. 2005. Vol. 46. P. 615–639.

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|---|------------|
| ВВЕДЕНИЕ | 3 |
| Глава 1. Геологическое строение и структура массива | 5 |
| Глава 2. Внутреннее строение ультрамафитов | 13 |
| 2.1. Восточный блок | 14 |
| 2.2. Южный блок | 19 |
| 2.3. Юго-Западный блок | 26 |
| 2.4. Северный блок | 32 |
| Глава 3. Первичный состав и продукты метаморфизма ультрамафитов | 37 |
| 3.1. Гарцбургиты | 37 |
| 3.2. Гарцбургиты амфиболизированные, оталькованные | 44 |
| 3.3. Энстатит-оливиновые, амфибол-энстатит-оливиновые породы | 45 |
| 3.4. Амфибол-оливиновые породы | 49 |
| 3.5. Оливин-антигоритовые, амфибол-оливин-антигоритовые породы | 50 |
| 3.6. Тальк-амфибол-оливиновые породы | 52 |
| 3.7. Последовательность минералообразования в ультрамафитах массива Рай-Из при метаморфизме | 54 |
| Глава 4. Плагноклазиты массива Рай-Из | 61 |
| Глава 5. Характеристика хромового оруденения | 75 |
| 5.1. Месторождение Центральное | 75 |
| 5.2. Рудопроявления Южного рудного поля | 84 |
| 5.3. Рудопроявления Енгайского рудного поля | 88 |
| 5.4. Рудопроявления Юго-Западного рудного поля | 103 |
| Глава 6. Окситермобарометрия хромовых руд и околорудных ультрамафитов массива Рай-Из | 122 |
| Глава 7. Минералогия и геохимия хромититов и рудовмещающих ультрамафитов ... | 139 |
| 7.1. Химический состав и зональность рудообразующих шпинелей и оливинов | 139 |
| 7.2. Амфибол из хромититов и околорудных ультрамафитов месторождения Центральное | 162 |
| 7.3. Геохимическая специфика рудовмещающих ультрамафитов | 167 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ | 174 |
| ПРИЛОЖЕНИЯ | 179 |
| 1. Химический состав рудообразующих хромовых шпинелей | 179 |
| 2. Химический состав оливинов из хромититов | 194 |
| 3. Химический состав ультрамафитов | 209 |
| 4. Микроэлементный состав ультрамафитов | 233 |
| 5. Химический состав хромититов месторождения Центральное | 237 |
| 6. Химический состав хромититов Енгайского и Юго-Западного рудных полей | 240 |
| СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | 254 |

Научное издание

**Надежда Владимировна ВАХРУШЕВА
Павел Борисович ШИРЯЕВ
Андрей Евгеньевич СТЕПАНОВ
Алена Романовна БОГДАНОВА**

**ПЕТРОЛОГИЯ И ХРОМИТОНОСНОСТЬ
УЛЬТРАОСНОВНОГО МАССИВА РАЙ-ИЗ
(Полярный Урал)**

Рекомендовано к изданию решением Объединенного
ученого совета УрО РАН по наукам о Земле,
Уральским отделением РАН
и ученым советом Института геологии и геохимии

Компьютерная верстка *Н.С. Глушковой*

ISBN 978-5-7691-2496-9



Подписано в печать 24.01.2018. Формат 70×100 1/16.
Бумага типографская. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 21,4. Уч.-изд. л. 21,9. Тираж 300 экз. Заказ №

Отпечатано с готового оригинал-макета в типографии
ООО Универсальная Типография “Альфа Принт”
620049, г. Екатеринбург, переулок Автоматики, 2ж.
Тел.: 8 (800) 300-16-00
www.alfaprint24.ru