

**УСЛОВИЯ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ПЕРВИЧНО-МАГМАТИЧЕСКОГО ХРОМИТА
ПРИ ФОРМИРОВАНИИ БУРАКОВСКО-АГАНОЗЕРСКОГО
РАССЛОЕННОГО МАССИВА ЗАОНЕЖЬЯ**

Николаев Г.С.

Институт геохимии и аналитической химии РАН, Москва, Россия

e-mail: gsnikolaev@rambler.ru

**CONDITIONS OF CRYSTALLIZATION OF A PRIMARY MAGMATIC CHROMITE
DURING FORMATION OF THE BURAKOVO-AGANAZERO LAYERED MASSIF
IN THE TRANS-ONEGA AREA**

Nikolaev G.S.

Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry RAS, Moscow, Russia

e-mail: gsnikolaev@rambler.ru

The chemical composition of chromite of the Burakovsky-Aganozersky layered massif were investigated. It is presented the simulation of chromite saturation conditions in a parental magma using the SPINMELT program.

Раннепротерозойский Бураковско-Аганозерский базит-ультрабазитовый массив – крупнейший расслоенный интрузив в Евразии. Разломы СЗ простирания разделяют его на три блока: Бураковский (юго-западный), Шалозерский центральный и Аганозерский (северо-восточный). Степень эродированности блоков возрастает в СВ направлении: наименее эродированным является Бураковский блок, наиболее – Аганозерский. В пределах массива выделены *Краевая группа* и *Расслоенная серия*, в которой снизу вверх сменяются четыре зоны: оливиновых, двупироксеновых, двупироксен-плагиоклазовых и двупироксен-плагиоклаз-магнетитовых кумулатов [1]. Образование этой последовательности пород связано с оседанием кумулятивных кристаллов в процессе внутрикамерной дифференциации исходной магмы. Зоны отражают порядок появления силикатных фаз на ликвидусе: $Ol \rightarrow Hca-Px$, $Lca-Px \rightarrow Pl \rightarrow Mt$. Около половины объема плутона составляют оливиновые кумулаты. В силу этого фазовый состав внедрившейся магмы устанавливается однозначно: родоначальный расплав и интрателлурические вкрапленники Ol , состав которого оценен как Fo_{87-88} . В результате исследований Краевой группы плутона, методом геохимической термометрии была получена оценка состава родоначального расплава (SHL) по петрогенным, редким и редкоземельным элементам [2]. Содержание Cr в родоначальном расплаве оценено в 0.14 вес.% Cr_2O_3 .

Акцессорная хромитовая минерализация Бураковско-Аганозерского массива установлена в породах зон оливиновых, двупироксеновых и нижней части двупироксен-плагиоклазовых кумулатов. Рудная хромитовая минерализация найдена как на Аганозерском, так и на Шалозерском блоках Плутона и образует стратиформную залежь. В первом приближении она приурочена к переходу от зоны оливиновых кумулатов к зоне двупироксеновых кумулатов. На уровень эрозионного среза Аганозерского блока хромититы выходят в его центральной части, окаймляя габброидную мульду. На Шалозерском блоке рудный пласт вскрыт скважинами в южной и восточной частях блока.

На основании петрографического анализа для кристаллов хромшпинелида можно выделить два морфологических типа зерен: ксеноморфный и идиоморфный. Выделенные морфологические типы по-разному распределены в породах интрузива. В нижних частях ультраосновной зоны (вскрытой скважинами только на Аганозерском блоке) в подавляющем большинстве случаев встречаются акцессорные аллотриоморфные зерна хромита. Идиоморфный хромит развит в верхних 400 м зоны оливиновых кумулатов и составляет первые проценты объема пород, являясь уже породообразующим минералом. В горизонтах расслоенной серии выше рудной залежи, которые принадлежат зоне двупироксеновых кумулатов и нижней части зоны двупироксен-плагиоклазовых кумулатов хромит снова становится акцессорной фазой, не имеющей правиль-

ных кристаллографических очертаний. Он встречается либо в виде изометричных зерен в межзерновом пространстве силикатных минералов, либо в виде системы параллельных друг другу червеобразных вростков в краевых частях крупных кристаллов пироксена, которые по-видимому следует интерпретировать как скелетные кристаллы. Ламеллеподобные вростки хромита характерны для практически мономинеральных клинопироксенитов с некумулятивной структурой развитых в зоне дупироксеновых кумулатов на Аганозерском блоке массива. Таким образом, аллотриоморфные хромиты первого типа могут быть интерпретированы как индивиды занимающие интеркумулятивную структурную позицию, а идиоморфные хромиты второго – кумулятивную. Ламеллеподобные вростки в кристаллах клинопироксена представляются продуктами выделения избыточного хрома при падении изоморфной емкости авгита при распаде твердого раствора на субсолидусном этапе.

Распределение Cr в породах зоны оливиновых кумулатов отражает динамику перехода хромита из аксессуарного в породообразующий. В этих породах основным минералом концентратором Cr является хромит, т.к. концентрации хрома в клинопироксене незначительны, а низкие содержания этого минерала можно контролировать по малым концентрациям скандия и титана в породе [1]. Для низов ультраосновной зоны характерны низкие значения содержаний хрома менее 1000 ppm, а в верхах зоны концентрации хрома возрастают до 7000-8000 ppm и более (по данным атомно-абсорбционного анализа, частное сообщение Н.Ф. Пчелинцевой, Геол. ф-т МГУ). По данным полуколичественного спектрального анализа более 50 скважин, этот переход удалось проследить только в скв.7. В разрезе скважины на интервале в 20-25 м наблюдается резкий рост количества кристаллов хромита. Подобное появление нового минерала, занимающего кумулятивную структурную позицию, обычно связывают с его появлением в кристаллизационной последовательности.

Вариации состава интеркумулятивного хромита по разрезу нижней части зоны оливиновых кумулатов характеризуются последовательным увеличением (на протяжении 900 м разреза), а затем уменьшением (на протяжении 700 м) показателя магнезиальности хромшпинелида. Причем он изменяется синфазно с вариациями состава оливина, а, следовательно, и общей магнезиальности пород [2]. Трехвалентные катионы также обнаруживают закономерные вариации. Содержания Fe^{3+} в целом повторяют тренд изменения магнезиальности, хотя обогащение Fe^{3+} в верхней части разреза не столь значительно. Соотношения Cr и Al характеризуются большим разбросом. Детальное исследование состава зерен хромита выявляют широкие вариации состава зерен хромита в пределах одного шлифа. Характерно, что в пределах отдельного зерна вариации состава не превышают погрешность микрозондового анализа. Свидетельством долгой термической истории пород, и, как следствие, их переуравновешивания служат двухфазные алюмохромит-магнетитовые зерна шпинелида как предельный случай обособления фаз спиноподобного распада. Этот факт ставит под сомнение уже не адекватность наших представлений о первичномагматическом составе хромшпинелида, а принципиальную возможность получения несмещенной оценки состава отдельного хромитового зерна.

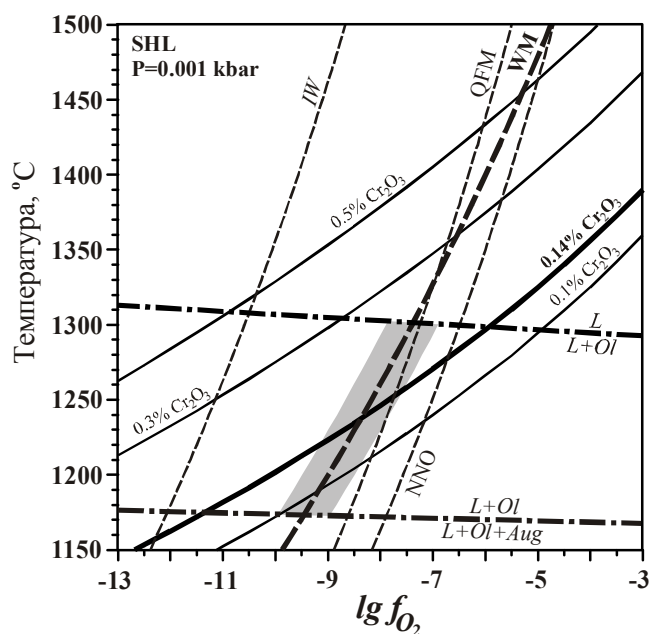


Рис. 1. Расчет условий насыщения хромшпинелидом модельного расплава SHL.

Серым цветом выделены условия, наиболее вероятного начала кристаллизации хромита при формировании Бураковско-Аганозерского плутона.

Вариации состава кумулятивного хромшпинелида Аганозерского блока характеризуются относительно незначительными (4-5 номеров) различиями содержаний трехвалентных катионов. На контрасте, изменения их магнезиальности превы-

шают 20 номеров (от 0.26 до 0.43). В этих породах наблюдается зависимость показателя магнезиальности от размера зерен: самые магнезиальные составы имеют самые крупные кристаллы.

Составы кумулятивного хромшпинелида Шалозерского блока характеризуются значительно большими вариациями, образуя значительно более широкое поле точек. По сравнению с составами кумулятивных хромитов Аганозерского блока они менее хромистые за счет увеличения доли Al и Fe₃. Обогащение состава хромита глиноземом и закисным железом согласуется с большей долей интерстициальных минералов в породах Шалозерского блока относительно Аганозерского [1].

Для модельного состава SHL [2], который рассматривается как оценка родоначального расплава Бураковско-Аганозерского интрузива, были рассчитаны условия насыщения хромшпинелидом. Расчет проводился с помощью программы SPINMELT [3] для давления в 0.001 кбар. Моделировались различные содержания Cr₂O₃ в расплаве: 0.1, 0.14, 0.3 и 0.5 вес.% (рис. 1). Учитывая реальную геологическую ситуацию можно сформулировать дополнительные ограничения на условия кристаллизации хромшпинелида: (1) Присутствие магнетита в верхних частях разреза плутона позволяет предполагать «умеренно окислительные» условия формирования последовательности пород, которые отвечают небольшому окислению железа в расплаве. Поэтому, с большой долей вероятности, можно принять редокс-условия близкими буферному равновесию вюстит-магнетит (WM±0.5). (2) Кумулятивные кристаллы хромита установлены только в верхней части разреза зоны оливиновых кумулятов и отсутствуют в породах зоны двупироксеновых кумулятов. Следовательно, температура появления хромита в кристаллизационной последовательности должна быть ниже температуры оливинового ликвидуса (1300°C), но выше температуры выхода расплава на Ol-Aug котектику (1174°C).

Изоплета 0.14% Cr₂O₃, соответствующая оценке концентрации хрома в родоначальном расплаве, пересекает выделенный вероятный интервал посередине. Это является независимым подтверждением реалистичности данных построений.

Результаты расчета состава хромита, равновесного SHL, в зависимости от редокс-условий и содержания хрома приведены на рис. 2. Составы, соответствующие условиям кристаллизации хромита в Бураковско-Аганозерском массиве, образуют очень узкое поле. Характерно, что несмотря на широкие вариации, реально наблюдаемые составы кумулятивных кристаллов хромита находятся в стороне от модельных составов. Это является еще одним аргументом в пользу предположения, что хромит теряет свой первично магматический состав за долгую термическую историю интрузива.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 08-05-00194.

ЛИТЕРАТУРА

1. Николаев Г.С., Хворов Д.М. Бураковско-Аганозерский расслоенный массив Заонежья: I. Геохимическая структура расслоенной серии плутона // Геохимия. 2003. № 8. С. 847-865.

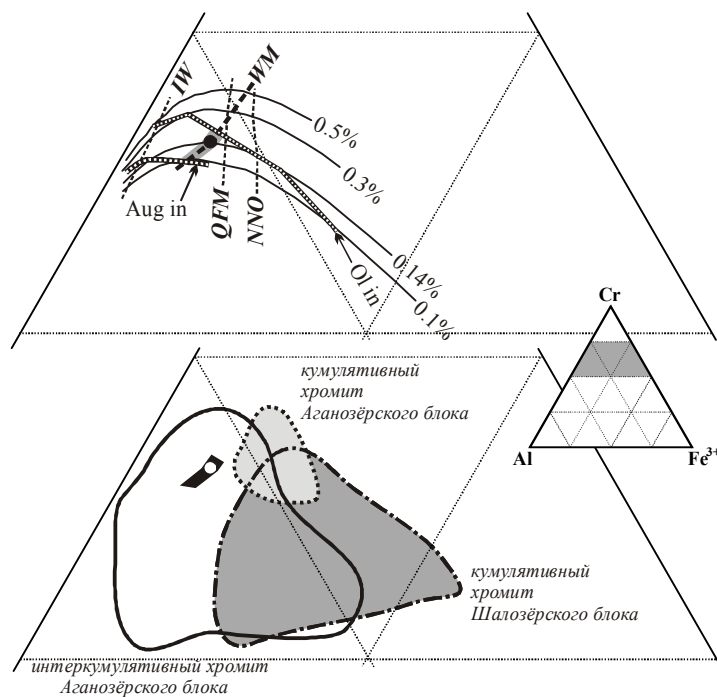


Рис. 2. Результаты расчета состава хромшпинелида равновесного модельному расплаву SHL и его сопоставление с реально наблюдаемыми хромитами Бураковско-Аганозерского плутона.

Залитое поле соответствует полю на рис. 1.

2. Николаев Г.С., Арискин А.А. Бураковско-Аганозерский расслоенный массив Заонежья: II. Строение краевой группы и оценка состава родоначальной магмы методом геохимической термометрии // Геохимия. 2005. № 7. С. 712-732.

3. Ariskin A.A., Nikolaev G.S. An empirical model for the calculation of spinel-melt equilibrium in mafic igneous systems at atmospheric pressure: I. Chromian spinels // Contrib. Mineral. Petrol. 1996. V. 123. P. 282-292.

РЕКОНСТРУКЦИЯ СОСТАВА РОДОНАЧАЛЬНОЙ МАГМЫ БУРАКОВСКО-АГАНОЗЕРСКОГО РАССЛОЕННОГО МАССИВА ЗАОНЕЖЬЯ МЕТОДОМ ГЕОХИМИЧЕСКОЙ ТЕРМОМЕТРИИ

Николаев Г.С., Арискин А.А.

*Институт геохимии и аналитической химии РАН, Москва, Россия
e-mail: gsnikolaev@rambler.ru, ariskin@rambler.ru*

RECONSTRUCTION OF THE PARENTAL MAGMA COMPOSITION OF THE BURAKOVO-AGANAZERO LAYERED MASSIF IN THE TRANS-ONEGA AREA BY GEOCHEMICAL THERMOMETRY TECHNIQUES

Nikolaev G.S., Ariskin A.A.

*Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry RAS, Moscow, Russia
e-mail: gsnikolaev@rambler.ru, ariskin@rambler.ru*

By means of numerical simulation of the equilibrium crystallization of the compositions of marginal-series rocks by the COMAGMAT-3.0 computer program, the temperature was estimated at slightly higher than 1300°C, and the composition of parental melt was reconstructed. The parental melt was chemically close to the volcanics of the Vetryny Belt, which provides additional arguments in favor of the comagmatic character of these rocks.

Оценка состава родоначальной магмы плутона может быть получена несколькими способами: (1) за искомый состав принимается состав закаленных пород эндоконтактовой фации интрузива; (2) оценка проводится по средневзвешенному составу пород интрузива или его расслоенной серии; (3) способ, который получил название метода геохимической термометрии [3], позволяет получить оценку температуры и состава жидкой части исходной магмы по результатам ЭВМ-моделирования равновесной кристаллизации составов, отвечающих наименее фракционированным (примитивным) породам краевых серий [1].

В силу чрезвычайно слабой обнаженности массива, поиск неизменных недифференцированных пород эндоконтакта, представляется трудноразрешимой задачей. Оценка среднего состава плутона может быть произведена двумя путями. Первый включает определение средних составов разных типов пород с последующим расчетом средневзвешенного в соответствии с их распространенностью [4]. Реалистичность подобных оценок сильно зависит от принятой модели геологического строения интрузива. Другой подход основан на расчете средневзвешенных содержаний элементов по сводному вертикальному разрезу интрузива [5]. Такой подход показал свою эффективность для относительно небольших пластовых тел и пологих лопполитов. Однако для крупных плутонов сложной геометрической формы встает вопрос о соответствии реальных объемов пород и их соотношений в частных разрезах, что требует независимой проверки. Кроме того, серьезным ограничением этой методики является условие доступности полного разреза расслоенной серии, представляющего всю совокупность дифференциатов исходной магмы.

Метод геохимической термометрии включает проведение термодинамического моделирования равновесной кристаллизации систем, отвечающих реальным образцам пород, т.е. не связан с ограничениями, которые может накладывать сложное пространственное строение массива. В основе метода лежит предположение, что в пространственно сближенных объемах куму-