

Хромшпинелиды из трубок Хомпу-Майского кимберлитового поля (Центральная Якутия)

Н.А.ОПАРИН, О.Б.ОЛЕЙНИКОВ (Институт геологии алмаза и благородных металлов Сибирского отделения Российской академии наук (ИГАБМ СО РАН); 677980, г. Якутск, проспект Ленина, д. 39)

Приведены результаты изучения хромшпинелидов из кимберлитовых пород трубок Манчары и Апрельская (Хомпу-Майское кимберлитовое поле, Центральная Якутия). Хромистая шпинель установлена в виде макрокристаллов и акцессорных микрокристаллов основной массы. Шпинелиды трубок различаются по составу. При исследовании макрокристаллов было выделено два тренда эволюции минерала: железо-титановый для хромшпинелей из трубки Манчары и кимберлитовый для хромистой шпинели из трубки Апрельская. Установлено, что шпинелиды мезостазиса кимберлитовых пород трубки Манчары кристаллизовались в два этапа – до образования флогопита и одновременно со слюдой основной массы. Хромшпинелиды основной массы кимберлитовых пород трубки Апрельской отличаются более высоким содержанием алюминия и, вероятно, кристаллизовались до слюды основной массы. Таким образом, в особенностях химического состава хромшпинелидов отражена последовательность кристаллизации кимберлитовых пород.

Ключевые слова: хромшпинелиды, макрокристаллы, микрокристаллы, кимберлитовая трубка, Хомпу-Майское поле, Центральная Якутия.

Опарин Николай Александрович
Олейников Олег Борисович



nik3256-1989@yandex.ru
olei-oleg@yandex.ru

Chromospinelides from kimberlite pipes of the Khompu-May field (Central Yakutia)

N.A.OPARIN, O.B.OLEINIKOV (Diamond and Precious Metal Geology Institute, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences)

The study results of chromospinelides from kimberlites of the Manchary and Aprelskaya pipes (Khompu-May kimberlite field, Central Yakutia) are presented. Chromospinelides are diagnosed in the form of macrocrysts and rock-forming mineral of groundmass. Chromospinelides ensemble of each pipe is individual. In the study of macrocrystals, two trends in the mineral evolution were identified: iron-titanium for chromospinelides from the Manchary pipe and «kimberlite» for chromian spinel from the Aprelskaya pipe. It is established that spinel of the Manchary pipes mesostasis crystallized in two stages – before phlogopite crystallization and simultaneously with groundmass mica taking aluminum and magnesium from melt. Groundmass chromospinelides of kimberlite rocks from the Aprelskaya pipe are distinguished by a higher content of aluminum and, probably, they crystallized before groundmass mica. Thus, crystallization sequence of kimberlite rocks is reflected in the chemical composition of chromospinelides.

Key words: chromospinelides, macrocrysts, microcrysts, kimberlite pipe, Khompu-May field, Central Yakutia.

В Центральной Якутии первая трубка Манчары Хомпу-Майского кимберлитового поля была открыта в 2007 г. [2], а в последующем на удалении не более 25 км установлены ещё несколько кимберлитовых тел [5], в том числе и трубка Апрельская (рис. 1). К настоящему времени в публикациях охарактеризованы только особенности состава пород этих тел [2, 5] и более детально представлены результаты изучения флогопита [4]. Данное исследование посвящено изучению макро-

микрокристаллов хромистых шпинелей, которые были диагностированы в составе протоочных проб и в аншлифах слабоизменённых кимберлитовых пород, слагающих трубки Манчары и Апрельская, расположенные в пределах Хомпу-Майского кимберлитового поля. По петрографическому составу породы этих трубок однотипны и представлены кимберлитовой брекчией и порфировым кимберлитом, в котором содержание обломков серпентинитов, изменённых метаморфических

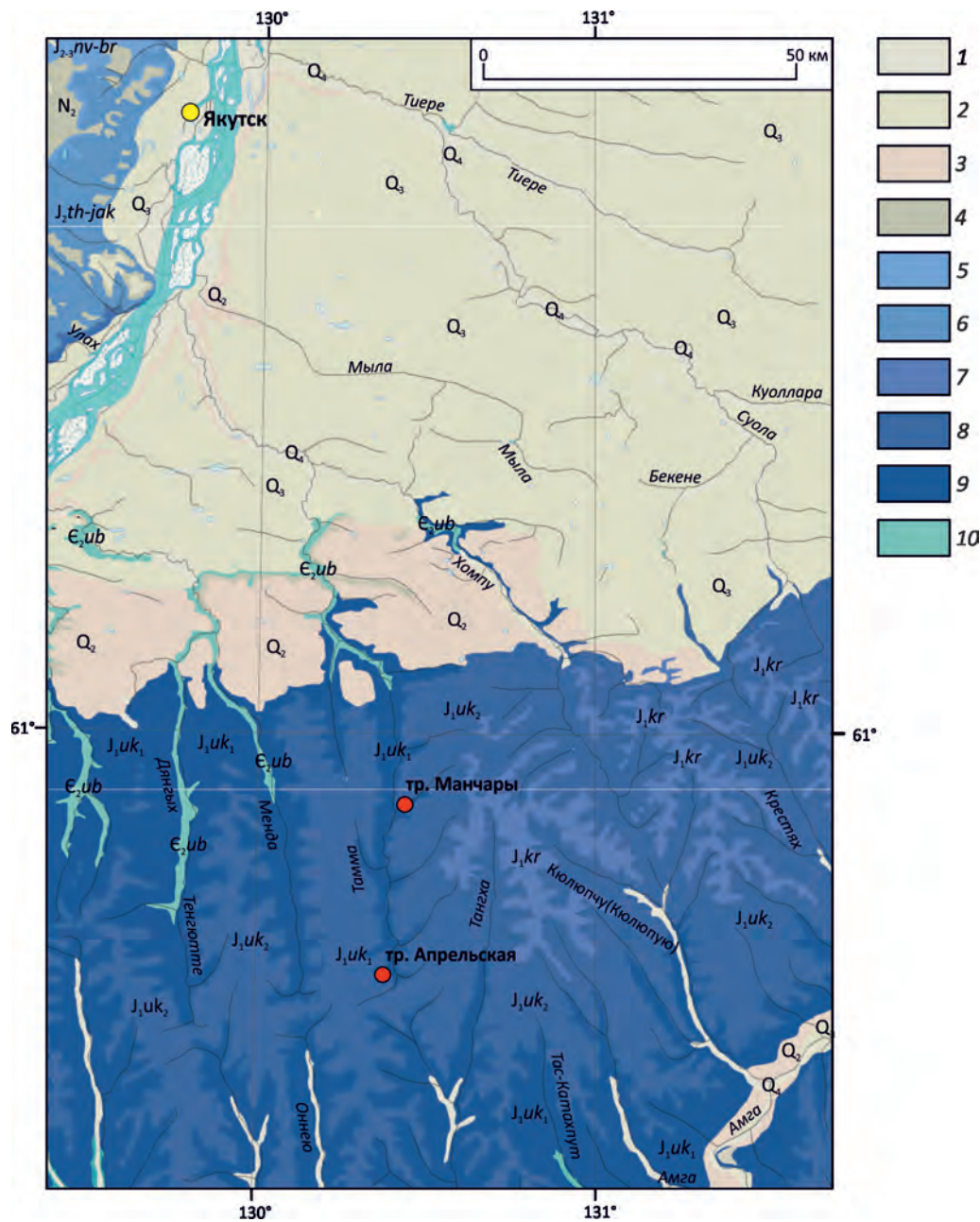


Рис. 1. Геологическая позиция трубок Центральной Якутии:

1 – голоцен, Q_4 ; плейстоцен: 2 – верхнее, Q_3 и 3 – среднее, Q_2 звенья; 4 – отложения неогена, N_2 ; 5–9 – юрские отложения: 5 – средний отдел, келовейский ярус, нижневилуйская свита–верхний отдел, кимериджский–волжский ярусы, берегинская свита, $J_{2-3}nv-br$, 6 – ааленский ярус, верхний подъярус–батский ярус, лохаинские слои (J_{1lh})–якутская свита, J_{2jak} , 7–9 – плинсбахский ярус: 7 – красноалданская свита, J_{1kr} , 8 – укугитская свита, верхняя подсвита, J_{1uk_1} , 9 – укугитская свита, нижняя подсвита, J_{1uk_2} ; 10 – карбонатные отложения кембрия, E_2ub

и осадочных пород не превышает первых процентов. Между породами существуют постепенные переходы. В обеих трубках установлены макрокристаллы пирропа, пикроильменита и хромшпинелида. Породы верхних горизонтов трубок сильно карбонатизированы и гипер-

генно изменены. Порфиновые выделения представлены карбонатизированными псевдоморфозами серпентина по макро-, мегакристаллам и вкрапленникам оливина. Кроме того, только в трубке Манчары присутствуют ксенолиты слюдитов, мега- и макрокристаллы

Представительные анализы хромшпинелидов кимберлитовых пород трубок Хомпу-Майского поля (в %)

Компоненты	Макрокристаллы хромшпинелидов										Хромшпинелиды основной массы														
	Манчары					Апрельская					Трубки					Манчары					Апрельская				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20					
Cr ₂ O ₃	60,30	61,25	52,33	55,14	45,04	20,95	45,15	62,47	25,62	59,77	54,25	21,74	38,56	52,20	57,83	36,92	37,94	31,51	38,24	36,86					
TiO ₂	2,28	1,21	0,03	2,51	4,15	2,81	1,09	0,44	7,43	0,03	1,07	11,49	7,65	3,27	2,08	8,20	6,17	7,63	5,14	4,93					
Al ₂ O ₃	1,24	1,04	13,8	5,11	2,11	12,75	13,71	5,10	14,85	10,16	11,72	4,98	3,58	4,39	2,35	8,83	13,11	13,74	16,00	17,58					
FeO	19,92	19,85	16,20	17,73	23,73	15,41	12,31	14,09	15,80	15,08	13,89	10,89	9,85	16,91	18,32	18,35	16,95	17,56	15,82	13,84					
Fe ₂ O ₃	7,01	8,60	6,01	8,44	18,64	36,14	12,13	6,02	20,93	3,63	5,93	30,74	22,06	11,11	10,36	11,49	12,56	12,60	10,91	10,88					
MnO	0,35	0,42	0,30	0,34	0,32	0,21	0,26	0,32	0,19	0,20	0,00	1,04	1,36	1,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00					
MgO	9,17	8,65	11,62	11,16	8,17	14,28	14,81	12,5	16,82	12,18	12,95	20,39	18,63	11,61	10,70	14,16	15,13	15,82	15,53	16,68					
Сумма	99,58	100,11	99,7	99,60	100,28	99,31	99,42	100,38	100,17	100,78	99,92	101,27	99,48	99,41	101,65	97,95	100,60	98,85	101,64	100,77					

Примечание. Анализы 1–10 выполнены в ИГАБМ СО РАН в отделе физико-химических методов анализа на микронзонде Camebax-micro (аналитик Н.В.Христофорова), анализы 11–20 на сканирующем электронном микроскопе JEOL JSM-6480 LV (аналитик С.К.Попова).

флогопита [4]. Основная масса наименее изменённых участков микрозернистая и сложена преимущественно флогопитом с ксеноморфными выделениями кальцита и серпентина. Первичные минералы мезостазиса представлены хромшпинелидами, апатитом, флогопитом, Ва-флогопитом.

Методика исследования. Макрокристаллы хромистой шпинели были отобраны из протолок наименее изменённых кимберлитовых пород, затем заключены в шашки и отполированы (трубка Апрельская – n=300 и трубка Манчары – n=84 зёрен). Микровыделения хромшпинелидов основной массы изучались в аншлифах. Исследование состава хромшпинелидов проводилось по стандартной методике на микронзонде Camebax-micro и сканирующем электронном микроскопе JSM6480LV с энергетическим спектрометром INCA-Energy 350 при напряжении на катоде 20 кВ и токе электронов 1 нА. Поверхности полированных шашек и аншлифов напылялись проводящим углеродным слоем (до синего цвета). При съёмке использовались следующие стандарты для линий: Al Ka – гранат O-145, Mg Ka – гранат O-145, Mn Ka – марганцевый гранат ИГЕМ, Ti Ka и Fe Ka – пикроильменит ГФ-55, Cr Ka – хромит 531-M8.

Макрокристаллы хромшпинелидов были выделены из кимберлитовых пород. Зёрна размером от 0,25 до 2 мм обычно неправильной, округлой и реже октаэдрической форм. Для хромшпинелидов из трубки Апрельская характерны повышенные содержания MgO (от 11,4 до 16,0%) и Al₂O₃ (от 5,1 до 14,85%) по сравнению с минералом из трубки Манчары, где содержания этих оксидов колеблются от 8,2 до 12,2% и

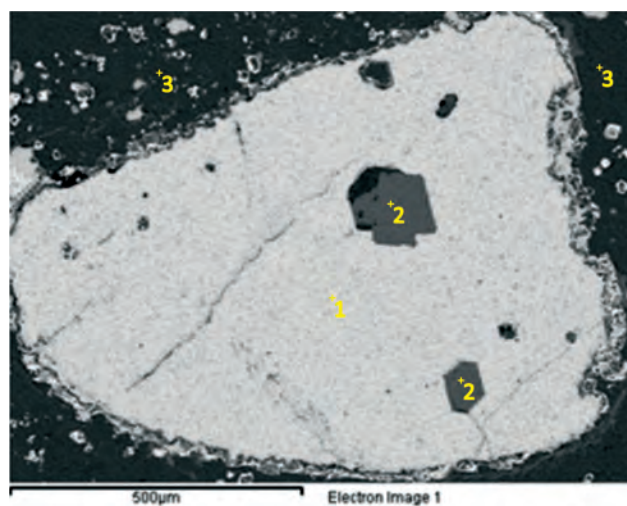


Рис. 2. Макрокристалл хромистой шпинели из кимберлитовой брекчии трубки Манчары:

1 – хромшпинелид; 2 – кальцит; 3 – серпентин

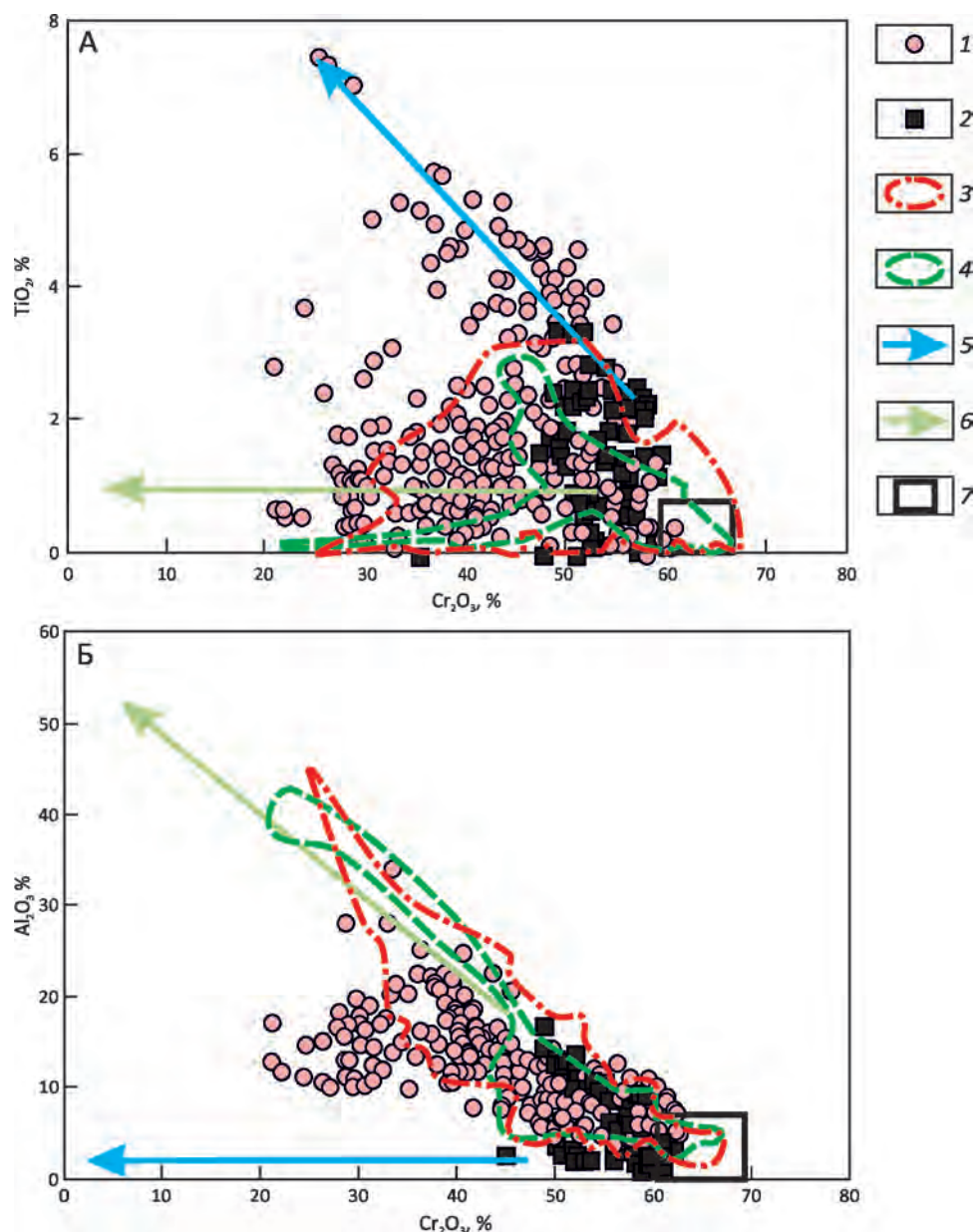


Рис. 3. Особенности составов макрокристаллов хромшпинелидов из кимберлитовых пород на диаграммах $\text{Cr}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ (А) и $\text{Cr}_2\text{O}_3\text{-Al}_2\text{O}_3$ (Б) [6]:

макрокристаллы шпинели из трубок: 1 – Апрельская, 2 – Манчары, 3 – Юбилейная, 4 – Удачная; тренды: 5 – пикритовый, 6 – перидотитовый; 7 – включения в алмазах

от 1,0 до 11,1%, соответственно (см. таблицу). В то же время большая часть макрокристаллов из трубки Манчары характеризуется более высокими содержаниями Cr_2O_3 (от 45,0 до 61,3%) по сравнению с таковыми из трубки Апрельская (от 20,9 до 62,5%) (см. таблицу). Все проанализированные зёрна содержат TiO_2 , концентрации которого не зависят от количества в минерале Cr_2O_3 .

В шпинелидах из трубки Манчары содержания этого оксида находятся в диапазоне от 0,03 до 4,2%, из трубки Апрельская – от 0,03 до 7,4% (см. таблицу).

Единичные макрокристаллы, установленные в аншлифах (трубка Манчары), окружены каймой до 16 мкм с пониженным содержанием Al_2O_3 (2,53%) по сравнению с центральной частью зерна (11,08%)

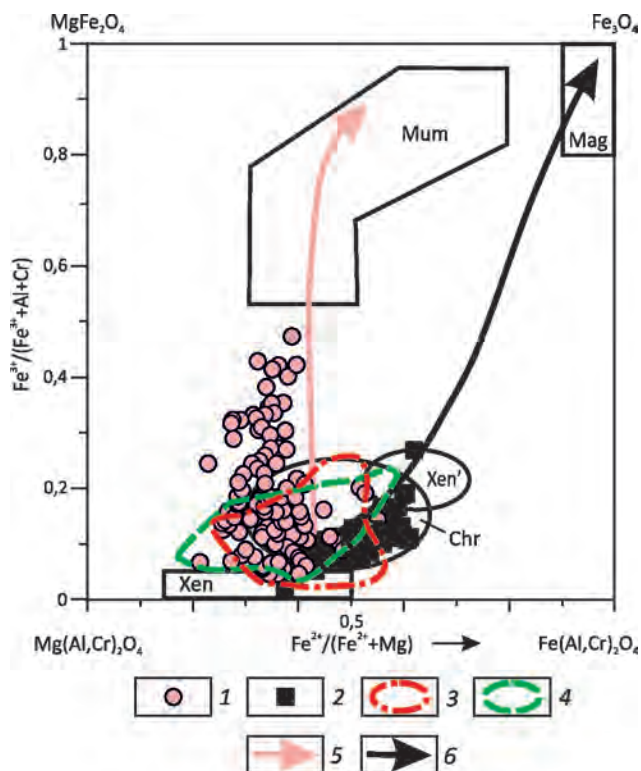


Рис. 4. Особенности эволюции составов макрокристаллов хромшпинелидов из кимберлитов на диаграмме $Fe^{2+}/(Fe^{2+}+Mg)-Fe^{3+}/(Fe^{3+}+Al+Cr)$ [8]:

макрокристаллы шпинели из трубок: 1 – Апрельская, 2 – Манчары, 3 – Юбилейная, 4 – Удачная; тренды: 5 – кимберлитовый и 6 – Fe-Ti; Xen – ксенокристы шпинели из перидотитов; Chr – хромиты; Xen’ – метасоматизированные ксенокристы шпинели из перидотитов; Mag – магнетит; Mum – магнезио-ульвошпинель-магнетит

при постоянном содержании Cr_2O_3 56%. В одном зерне хромистой шпинели (Cr_2O_3 53,74%) в аншлифе кимберлитовой брекчии трубки Манчары встречены идиоморфные включения кальцита (рис. 2), который был захвачен в процессе образования макрокристалла хромшпинелида, что свидетельствует о кимберлитовой магматической природе этих минералов и насыщенности расплава CO_2 на раннем этапе его кристаллизации.

Изучение макрокристаллов хромшпинелидов из кимберлитовых пород трубок Манчары и Апрельская показало широкий диапазон изменений содержаний всех основных компонентов минерала (см. таблицу). В обеих трубках присутствуют единичные зёрна с содержанием Cr_2O_3 >60%. На диаграммах $Cr_2O_3-TiO_2$ и $Cr_2O_3-Al_2O_3$ (рис. 3) несколько точек составов хромшпинелидов из этих трубок попадают в поле составов включений в алмазах [6]. Количество таких зёрен в трубках Апрельская и Манчары составляет 1 и 4,5%, соответственно, что существенно меньше, чем среди проанализирован-

ных авторами зёрен шпинелей из алмазоносных трубок Юбилейная (40,5%, $n=126$) и Удачная (50%, $n=59$). Для макрокристаллов из трубок Манчары и Апрельская характерно наличие двух основных трендов кристаллизации хромшпинелидов, типичных для кимберлитовых пород, – перидотитового и пикритового [6]. Первый обусловлен изоморфизмом Cr^{3+} и Al^{3+} на фоне низкого количества титана, второй связан с уменьшением содержания хрома и увеличением суммарного железа при выдержанном содержании оксида титана и низких концентрациях оксида алюминия.

Рассматривая составы изученных макрокристаллов в координатах $Fe^{2+}/(Fe^{2+}+Mg)-Fe^{3+}/(Fe^{3+}+Al+Cr)$, можно отметить, что почти все фигуративные точки шпинелей ложатся в область хромитов (рис. 4), которые кристаллизовались из кимберлитовой магмы [8]. Шпинелиды из трубки Манчары находятся в пределах выделенного П.Роздером железо-титанового тренда, который обусловлен сокристаллизацией шпинелей и обогащённых магнием и алюминием силикатных минералов (оливин и флогопит в кимберлитах) [8], что соответствует составу кимберлитовой брекчии из трубки Манчары, в которой обнаружены фенокристаллы слюды [4].

Фигуративные точки составов шпинелей трубки Апрельская образуют протяжённый (см. рис. 4), близкий к «кимберлитовому» тренд эволюции минерала от хромита до магнезио-ульвошпинель-магнетита [8]. Предполагается, что такой магнезиальный тренд обусловлен влиянием высокого содержания карбонатов в кимберлитах группы I и быстрой кристаллизацией минералов в процессе эволюции летучих веществ [8].

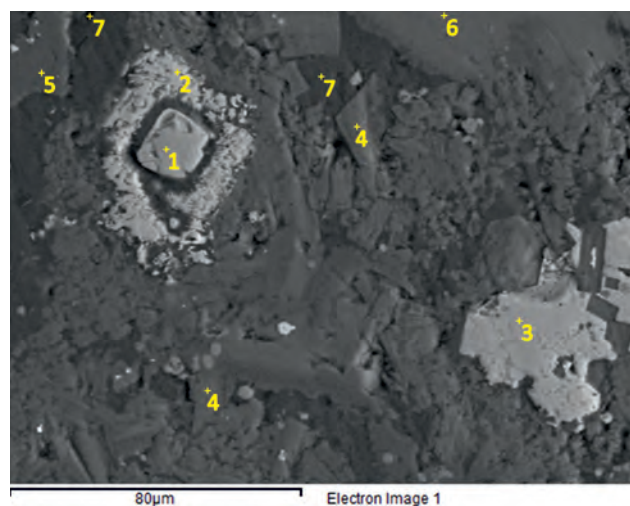


Рис. 5. Атоллвидный агрегат (трубка Апрельская):

1 – ядро, сложенное хромшпинелидом; 2 – кайма, выполненная магнетитом; 3 – ильменит; 4 – изменённый флогопит; 5 – доломит; 6 – кальцит; 7 – серпентин; SEI (изображение во вторичных электронах)

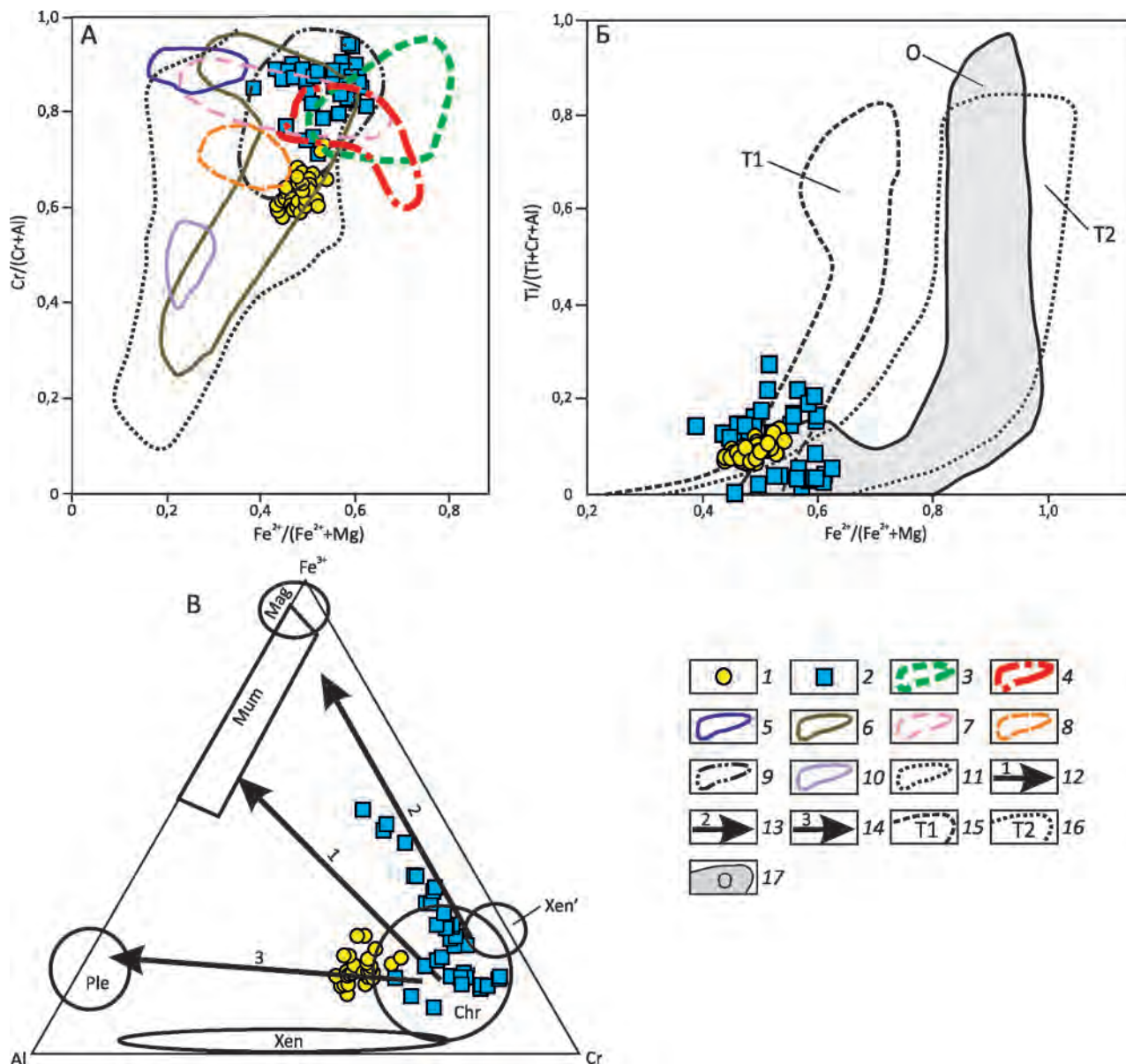


Рис. 6. Тренды и поля составов микрокристаллов хромшпинелидов основной массы кимберлитовых пород Хомпу-Майского поля на диаграммах: $Fe^{2+}/(Fe^{2+}+Mg)-Cr/(Cr+Al)$ (А) [1], $Fe^{2+}/(Fe^{2+}+Mg)-Ti/(Ti+Cr+Al)$ (Б) [7], $Fe^{3+}-Al-Cr$ (В) [8]:

шпинели: 1 – трубки Апрельская, 2 – трубки Манчары, 3–4 – основной массы трубок Удачная и Юбилейная, соответственно, по работе [3]; 5 – включения в алмазах; 6 – кимберлиты; 7 – меймечиты; 8 – коматиты; 9 – хромшпинелиды курунгского типа; 10 – базальты СОХ; 11 – ксенолиты из кимберлитов; 12–14 – кимберлитовый (1), Fe-Ti (2) и Cr-Al (3) тренды, соответственно, [8]; 15–17 – ульвошпинелевый, титано-магнетитовый и оранжевый тренды, соответственно, по работе [7]; Ple – цейлонит; см. услов. обозн. к рис. 4

Хромшпинелиды основной массы. В основной массе кимберлитовых пород трубок Манчары и Апрельская хромистая шпинель встречается в виде ядер (до 25 мкм), расположенных внутри атоловоидных агрегатов (рис. 5), образованных губчатыми или пластинчатыми скелетными кристаллами магнетита (до 100 мкм). Промежуточная зона таких образований выполнена до-

ломитом, магнезиально-железистым кальцитом, в редких случаях андрадитом. Магнетит присутствует также в виде ксеноморфных зёрен (до 30 мкм) и губчатых агрегатов (до 50 мкм). Для этого минерала характерно содержание FeO_{tot} от 87,0 до 91,0%, TiO_2 от 1,2 до 1,5%, MgO от 1,5 до 4,0% и небольшое количество Cr_2O_3 от 0,4 до 0,9%.

При одном уровне содержания Cr_2O_3 концентрация Al_2O_3 в шпинелидах трубки Манчары более низкая, чем в минерале трубки Апрельская (см. таблицу). Микрокристаллы обоих тел содержат значительное количество TiO_2 – от 1,07 до 11,49% (трубка Манчары) и от 4,9 до 8,2% (трубка Апрельская). Фигуративные точки шпинелидов из трубок Апрельская и Манчары на диаграмме в координатах $\text{Fe}^{2+}/(\text{Fe}^{2+}+\text{Mg})-\text{Cr}/(\text{Cr}+\text{Al})$ [1] образуют обособленные поля (рис. 6, А). Это обусловлено в целом более низкими содержаниями Cr_2O_3 в минерале из трубки Апрельская. Шпинелиды мезостаза кимберлитов трубки Манчары на диаграмме, предложенной Р.Митчеллом (см. рис. 6, Б), образуют две самостоятельные группы [7]. Часть точек принадлежит ульвошпинелевому тренду, а часть – титаномагнетитовому. Для первой группы характерны содержания TiO_2 от 7,7 до 11,5%, для второй – от 1,1 до 3,3%. Хромшпинелиды первой группы с пониженными концентрациями Al_2O_3 от 3,6 до 4,9% (см. таблицу) кристаллизовались одновременно или после образования флогопита основной массы. Вторая группа зёрен кристаллизовалась до слюды мезостаза, о чём свидетельствуют повышенные содержания в них алюминия – от 2,4 до 11,7%. Шпинелиды из трубки Апрельская принадлежат ульвошпинелевому (см. рис. 6, Б) и $\text{Cr}-\text{Al}$ тренду (см. рис. 6, В) [8]. Проведённое сравнение микровыделений шпинелидов из трубок Хомпу-Майского поля с подобными из промышленно алмазоносных трубок Удачная и Юбилейная [2] показало, что изученные шпинели в целом содержат меньше Cr_2O_3 и только часть зёрен из трубки Манчары попадают в поля зёрен из этих тел (см. рис. 6, А). Такая особенность содержаний хрома в шпинелидах из трубок Манчары и Апрельская находится в соответствии с их минералогической алмазоносностью.

В результате проведённого исследования в макрокристалле хромшпинелида трубки Манчары установлено присутствие включений кальцита, что указывает на магматическую и кимберлитовую природу и минерала-узника, и минерала-хозяина. Изучение макрокристаллов хромшпинелидов показало различие составов минерала из трубок Манчары и Апрельская по содержанию Al_2O_3 , что, по-видимому, обусловлено сокращением кристаллизацией макрокристаллов хромшпинелидов и флогопита [4], мегакристаллы которого установлены только в кимберлитовых породах трубки Манчары. Проведённое исследование также показало, что среди изученных хромшпинелидов количество зёрен, относящихся к алмазной ассоциации, на порядок меньше, чем среди индивидов из промышленно алмазоносных трубок Удачная и Юбилейная, что коррелирует с минералогической алмазоносностью пород изученных тел. В трубках Манчары и Апрельская микрокристал-

лы в целом содержат меньше Cr_2O_3 (от 21,7 до 57,83%) и больше TiO_2 (от 1,1 до 8,2%), чем макрокристаллы, содержания оксидов в которых составляют от 20,95 до 62,47% и от 0,03 до 7,4%, соответственно.

Установлены различия в составах хромистых шпинелей основной массы из трубок Манчары и Апрельская. В первом случае они образовались в два этапа: зёрна с повышенным содержанием Al_2O_3 до кристаллизации флогопита основной массы и с пониженным одновременно или после слюды, забирающей из расплава алюминий и магний [7]. В трубке Апрельская установлены хромшпинелиды только с высоким содержанием алюминия, которые кристаллизовались до флогопита мезостаза. Таким образом, трубки Манчары и Апрельская Хомпу-Майского поля характеризуются индивидуальными особенностями шпинелевого ансамбля, то есть пути кристаллизации кимберлитового расплава в обоих телах различались.

Работа выполнена по плану НИР ИГАБМ СО РАН (№0381-2016-0003).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Афанасьев В.П., Зинчук Н.Н., Похиленко Н.П.* Морфология и морфогенез индикаторных минералов кимберлитов. – Новосибирск: Филиал «Гео» Изд-ва СО РАН, Издательский дом «Манускрипт», 2001.
2. *Кимберлиты* трубки Манчары: новое кимберлитовое поле центральной Якутии / А.П.Смелов, А.П.Андреев, З.А.Алтухова и др. // Геология и геофизика. 2010. № 1. С. 153–159.
3. *Микрокристаллические оксиды из кимберлитов России* / В.К.Гаранин, А.В.Бовкун, К.В.Гаранин и др. – М.: ГЕОС, 2009.
4. *Опарин Н.А., Олейников О.Б., Бабушкина С.А.* Флогопит из трубок Манчары и Апрельская (Хомпу-Майское кимберлитовое поле, Центральная Якутия) // Отечественная геология. № 5. 2017. С. 37–44.
5. *Особенности состава кимберлитовых пород трубок Дабан и Апрельская* / Н.А.Опарин, В.М.Мишнин, А.П.Андреев и др. // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России: мат-лы VI всероссийской научно-практической конференции. – Якутск, 2016. С. 247–250.
6. *Соболев Н.В., Похиленко Н.П., Лаврентьев Ю.Г.* Особенности составов хромшпинелидов из алмазов и кимберлитов Якутии // Геология и геофизика. 1975. № 11. С. 7–24.
7. *Mitchell R.H.* Kimberlite, orangite and related Rocks. – N.-Y.: Plenum Press, 1995.
8. *Roeder P.L., Schulze D.J.* Crystallization of Groundmass Spinel in Kimberlite // Journal of Petrology. Vol. 49. Issue 8. 1 August 2008. P. 1473–1495.