

## О ГЕНЕЗИСЕ КАЙМ НА ПИКРОИЛЬМЕНИТАХ ТАЙГИКУН-НЕМБИНСКОГО КИМБЕРЛИТОВОГО ПОЛЯ (Эвенкия)

А.М. Хмельков

*АК „АЛРОСА“, Амакинская геолого-разведочная экспедиция,  
678190, Мирнинский р-он, пос. Айхал, ул. Южная, 12, Россия*

С помощью современной микрозондовой аппаратуры детально изучены строение и фазовый состав полиминеральных кайм на пикроильменитах, отобранных из современных аллювиальных отложений и элювия тр. Хоркич Тайгикун-Нембинского кимберлитового поля. Полученные данные позволили уточнить сведения о составе и генезисе подобных кайм. Установлено, что образование их — процесс длительный. Он включал в себя как реакционное замещение пикроильменита новообразованными минеральными фазами непосредственно в магматическую стадию в результате длительного взаимодействия зерен с кимберлитовым расплавом, так и последующее постмагматическое их замещение (корродирование) вторичными минералами. В магматическую стадию по зернам пикроильменита развивались преимущественно перовскит и титаномагнетит, в постмагматическую — осуществлялось замещение как непосредственно пикроильменита, так и новообразованных минеральных фаз такими минералами, как лейкоксен и серпентин. Сформировавшиеся поверхности являются первичными в отношении процессов образования шлиховых ореолов, а сам рельеф правильнее все же называть реакционно-коррозионным. Высказано предположение, что наличие довольно интенсивного реакционно-коррозионного рельефа на пикроильменитах может являться отрицательным фактором алмазоносности кимберлитовых тел.

*Кимберлит, пикроильменит, реакционно-коррозионный рельеф, полиминеральная кайма, Эвенкия.*

## GENESIS OF THE RIMS ON PICROILMENITES OF THE TAIGIKUN-NEMBA KIMBERLITE FIELD (Evenkia)

А.М. Khmel'kov

Using a modern microprobe, we have thoroughly studied the structure and phase composition of polymictic rims on picroilmenites sampled from modern alluvial deposits and from eluvium of the Khorkich pipe in the Taigikun-Nemba kimberlite field. Data obtained helped to refine the composition and genesis of similar rims. We have established that their formation was a long process, which included reactionary replacement of picroilmenite by neogenic mineral phases at the magmatic stage as a result of the long-term interaction of its grains with kimberlitic melt and the subsequent postmagmatic replacement (corrosion) of these phases by secondary minerals. At the magmatic stage, perovskite and titanomagnetite were the major minerals that developed after the picroilmenite grains. At the postmagmatic stage, both the picroilmenite and the neogenic mineral phases were replaced by leucoxene and serpentine. The formed surfaces are primary in the context of the processes of formation of heavy-concentrate aureoles, and the relief itself is more correct to be called reactionary-corrosive. We suggested that the development of a rather intensive reactionary-corrosive relief after picroilmenites can exert a negative effect on the diamond potential of kimberlite bodies.

*Kimberlite, picroilmenite, reactionary-corrosive relief, polymictic rim, Evenkia*

### ВВЕДЕНИЕ И ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Каймы, развивающиеся по периферии зерен пикроильменита, не являются необычным явлением и встречаются более широко, чем структуры распада твердого раствора. В числе вторичных продуктов описаны перовскит, магнетит, сфен, титаномагнетит, анатаз, рутил, псевдобрукит, гематит, магномагнетит, пирит, пирротин, петландит, джерфит, гидроксиды железа, вторичный пикроильменит, магнезиоферрит, ульвошпинель, титаножелезистый плеонаст, хромит, серпентин, лейкоксен [1—8]. Вопрос генезиса данных новообразованных кайм на настоящий момент дискутируется. Связано это в первую очередь с тем, что образование некоторых минеральных фаз является процессом конвергентным. Так, образование рутила и псевдобрукита известно не только в кимберлите, но и в ильменитах „черных песков“, а также в ильменитах современных рек и озер [4]. Лейкоксенизация пикроильменита происходит не только в постмагматическую (гидротермальную) стадию, но и в условиях гипергенеза, а также и метагенеза (начальной стадии эпигенеза), хотя и проявляется не так интенсивно [5]. В некоторых трубках пикроильменит замещается хорошо окристаллизованным анатазом, который аналогичен образованному под воздействием интрузий дифференцированных траппов или в условиях метагенеза под действием высокоминерализованных растворов [6]. Да и непосредственно в кимберлите условия образования полиминеральных кайм не до конца еще выяснены: связано ли формирование некоторых новообразований с позднемагматической стадией или они являются продуктом постмагматических высокотемпературных изменений.

© А.М. Хмельков, 2005

Как следствие, нет единого мнения и относительно генезиса некоторых характерных форм рельефа, образующихся непосредственно на поверхности зерен пикроильменитов в результате формирования кайм. В том числе пока четко не установлено место, условия и время формирования своеобразного шиповатого рельефа (микропирамидального по [6] или зернистого, мелкобугорчатого по [8]). До недавнего времени считалось, что эти „шипы“ (микропирамиды) являются реакционными новообразованиями, но позже появились данные в пользу их коррозионного генезиса. Так, при изучении В.П. Афанасьевым подобных пикроильменитов из тр. Гренада и Надежда, на сколах не удалось определить фазовую границу, а микронзондовые исследования не показали четкого отличия по составу „шипов“ от пикроильменита, что свидетельствовало в пользу коррозионного генезиса микрорельефа. Исходя из этого, автор не исключает возможность образования микропирамидального рельефа в результате постмагматических изменений на ранней высокотемпературной стадии. В этом случае и данный рельеф, и перекрывающие его вторичные продукты являются результатом инконгруэнтного растворения [6]. Имеются отдельные утверждения, что „шипы“ представляют собой эпитактические наросты магнетита, хромшпинели(?) и лейкоксенизированного перовскита [9]. В.Т. Подвысоцкий считает, что шиповатые поверхности могут образовываться как в поздней, так и в постмагматическую (гидротермально-метасоматическую) стадии и иметь как реакционный, так и коррозионный генезис или и тот, и другой (реакционно-коррозионный) [8]. Причем реакционные каймы, образованные на позднематематической стадии, по его мнению, формируются путем нарастания вторичных минералов (вторичного пикроильменита, перовскита, магнетита, анатаза и др.) на зерна пикроильменита, создавая тем самым характерный рельеф. В то же время автор допускает образование подобных поверхностей и путем коррозии зерен пикроильменита кимберлитовым расплавом без образования иных минеральных фаз. В постмагматическую стадию характерный ребристый рельеф, по мнению вышеназванного автора, образуется в результате корродирования и замещения лейкоксомом или непосредственно поверхности пикроильменита (коррозионная поверхность), или более ранних реакционных кайм (реакционно-коррозионная поверхность). Нами ранее также высказывались доводы в пользу первичного генезиса шиповидных поверхностей на пикроильменитах Муно-Тюнгского водораздела, подчеркивая этим образование их непосредственно в процессе становления кимберлитовых тел [10].

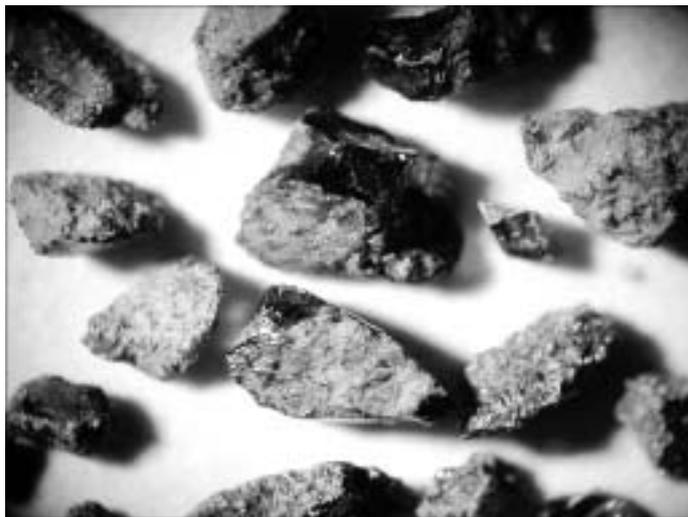
Имеются также утверждения, что образование шиповидных поверхностей происходит в гипергенных условиях и некоторые исследователи приводят доводы в пользу этого [11]. Примечательно, что и среди части производителей существует устойчивое мнение о возможности образования подобного рельефа и покрывающих его вторичных продуктов в условиях гипергенеза, в том числе и за счет изношенных зерен непосредственно в осадочном коллекторе.

Как видим, отдельные вопросы генезиса как самих полиминеральных кайм, покрывающих по периферии зерна пикроильменита, так и своеобразного рельефа, образующегося в результате формирования данных кайм, до сих пор являются дискуссионными и до конца еще не выясненными.

#### ОБЪЕКТ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

В процессе проведенных работ на территории Тайгикун-Нембинского кимберлитового поля (Эвенкия) сотрудниками АК „АПРОСА“ (1998—1999 гг.) был получен материал, позволяющий благодаря современной микронзондовой аппаратуре провести более детальные исследования поверхностей пикроильменита. В результате были детально изучены строение и фазовый состав полиминеральных кайм, покрывающих зерна данного минерала, а полученные данные позволяют уточнить имеющиеся сведения об их составе и генезисе.

Из парагенетических минералов кимберлитов в мезозойских телах Тайгикун-Нембинского кимберлитового поля пикроильменит преобладает, присутствуя в значительных количествах как непосредственно в элювии тр. Хоркич, так и в русловом аллювии близлежащих водотоков. Кроме этого, в результате работ геологами АК „АПРОСА“ установлены пикроильмениты с хорошей сохранностью зерен в современных отложениях за пределами влияния известных трубок, источниками которых могут являться еще не



**Рис. 1. Пикроильмениты Тайгикун-Нембинского кимберлитового поля (Эвенкия).**

Район тр. Хоркич, пр. 3118.

выявленные кимберлитовые тела. Особенностью пикроильменитов хорошей сохранности как из тр. Хоркич, так и из вновь выявленных участков является то, что основная масса зерен имеют своеобразные каймы коричневатого и светло-серого цвета. Иногда эти каймы довольно интенсивные и в виде сплошных эмалевидных, мелкозернистых масс или лучистых агрегатов развиты сплошным слоем по всему зерну (рис. 1).

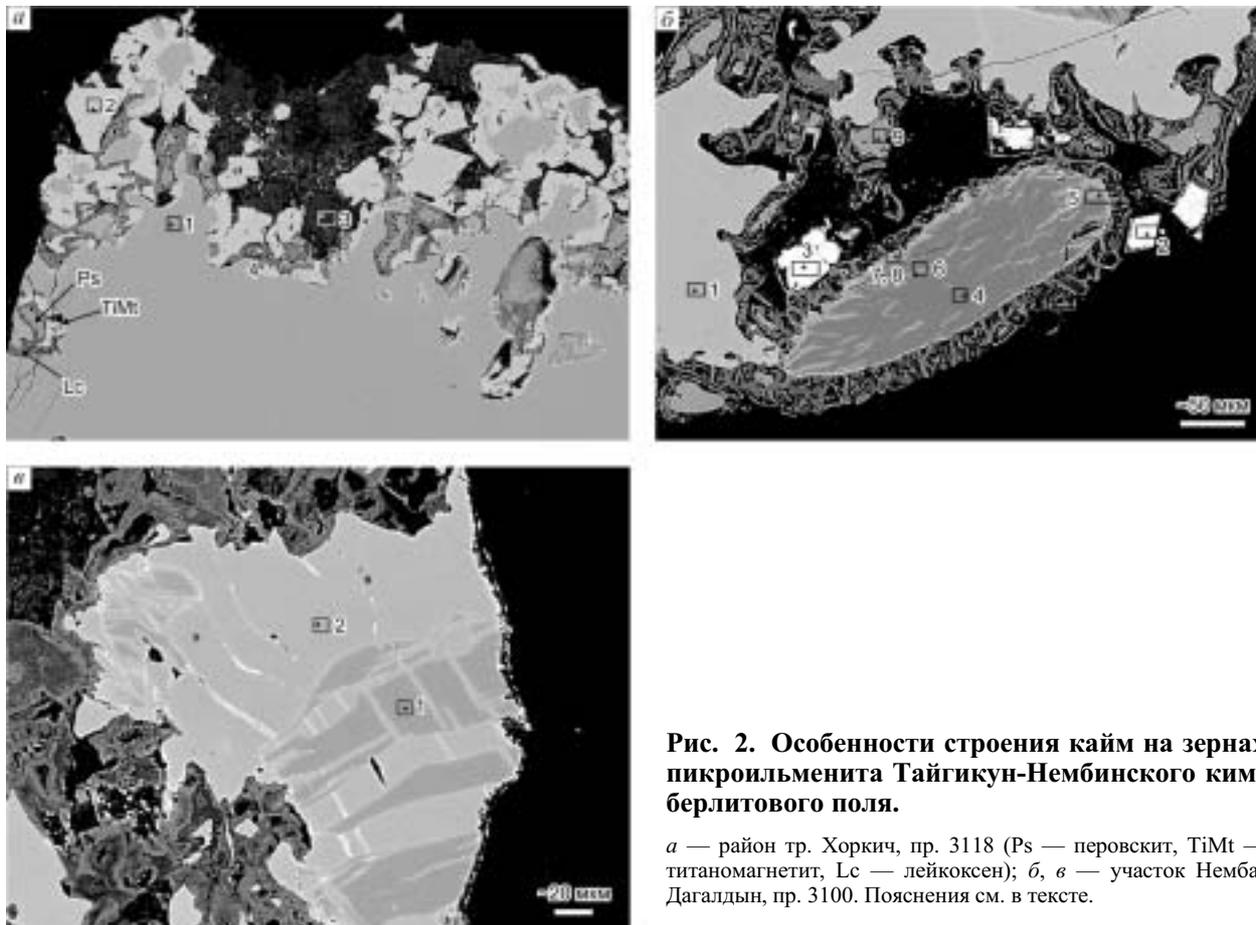
В отдельных случаях данные каймы довольно легко разрушаются, а некоторые пикроильмениты при незначительном усилии распадаются на отдельные блоки. Довольно часто под каймами наблюдается отрицательный рельеф в виде узких продолговатых бороздок. Иногда из-под них видны первичные, как правило, мелкобугорчатые поверхности. Данные специфические каймы являются характерным типоморфным признаком пикроильменитов Тайгикун-Нембинского кимберлитового поля и не совсем характерны для Якутской алмазоносной провинции (ЯАП). Во всяком случае, такие интенсивные оболочки не типичны для пикроильменитов большинства ее кимберлитовых полей. Хотя справедливости ради следует отметить, что отдельные зерна с похожими поверхностями встречаются в аллювиальных отложениях отдельных водотоков и в пределах ЯАП, например на Муно-Тюнгском междуречье. То, что данные каймы иногда развиты на первичных магматогенных поверхностях, предполагает их более позднее образование. Исходя из этого первоначально было высказано предположение, что каймы не являются реакционными новообразованиями, а имеют коррозионный генезис, но образовались они, скорее всего, в постмагматическую стадию непосредственно в кимберлите. Однако более внимательное изучение строения и состава кайм позволило несколько уточнить данное мнение.

Результаты анализов минералов, слагающих каймы на зернах пикроильменита Тайгикун-Нембинского кимберлитового поля, мас. %

Привязка	Номер или место анализа	Минерал	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaO	TiO <sub>2</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO*	MnO	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Сумма
Район тр. Хоркич, пр. 3118 (рис. 2,а)	1	Пикроильменит	13,07	0,53	Н.о.	Н.о	54,97	1,75	29,67 (4,31)	0,29	Н.о	Н.о	Н.о	100
	2	Титаномагнетит	11,58	5,13	»	»	21,2	3,43	55,25	0,43	»	»	»	97
	3	Серпентин	26,98	0,3	58,4	»	0,26	0,07	7,44	0,1	»	»	»	93,5
	4	Лейкоксен	3,23	1,04	8,48	1,89	74,78	0,38	2,85	Н.о	»	»	»	92,7
Участок Немба-Дагалдын, пр. 3100 (рис. 2,б)	1	Пикроильменит	11,86	0,39	Н.о	0,09	53,73	0,05	32,03 (5,95)	0,32	1	»	»	99,5
	2	Титаномагнетит	10,01	5,31	0,42	0,01	14,41	15,28	49,8	0,56	0,39	»	»	96,2
	3	»	10,16	4,32	0,33	0,07	18,91	5,54	55,67	0,63	0,52	»	»	96,2
	4	Рутил	0,12	0,12	0,22	Н.о	97,67	0,63	0,69	0,12	0,86	0,24	0,71	101
	5	Пикроильменит	12,57	0,15	0,19	»	59,05	0,44	27,57 (0)	0,3	0,08	Н.о	Н.о	100
	6—8	»	9,93	0,16	0,28	»	66,59	0,69	21,63 (0)	0,29	0,15	0,28	»	100
	9	Перовскит	0,06	0,13	0,28	39,3	58,69	0,12	1,08	0,03	0,07	Н.о	»	99,7
Пр. 3100 (рис. 2,в)	1	Рутил	Н.о	0,07	0,51	Н.о	93,51	Н.о	Н.о	1,14	1,92	3,21	»	100
	2	Пикроильменит	13,29	0,13	Н.о	»	56,69	0,14	28,77 (2,14)	0,46	1,21	Н.о	»	101
Пр. 3100	кр	»	12,87	0,38	»	0,1	55,85	0,27	30,03 (3,35)	0,32	Н.о	»	»	99,8
	к	Лейкоксен	0,03	0,29	1,98	0,77	83,47	Н.о	3,05	0,11	1,69	»	»	91,4
Тр. Хоркич, пр. 3106	кр	Пикроильменит	10,37	0,32	Н.о	Н.о	53,54	0,01	43,52 (5,77)	0,34	0,86	»	»	100
	к	Лейкоксен	Н.о	0,21	2,18	0,51	87,85	Н.о	2,52	0,03	1,54	»	»	94,8
Участок Тайгикун, пр. 3176	кр	Пикроильменит	12,39	0,5	Н.о	Н.о	52,89	2,59	30,65 (6,34)	0,53	Н.о	»	»	99,6
	к	Титаномагнетит	10,87	5,08	»	»	21,19	3,72	54,91	0,63	»	»	»	96,4
	»	»	10,74	5,79	»	»	20,36	6,18	53,02	0,47	»	»	»	96,6
Пр. Т-1	»	Перовскит	Н.о	0,25	»	39,6	59,34	0,16	1,05	Н.о	»	0,2	0,33	101
	»	Титаномагнетит	10,55	4,8	»	0,11	19,26	0,29	60,12	0,44	»	Н.о	Н.о	95,6
	»	Лейкоксен	3,88	1,2	9,38	1,52	74,49	0,08	3,02	Н.о	»	»	»	93,6
	»	Титаномагнетит	10,64	5,21	Н.о	0,1	19,59	5,31	55,16	0,47	»	»	»	96,5
Пр. Ч-1	»	Перовскит	0,05	0,18	0,28	38,8	57,83	Н.о	1	Н.о	»	»	»	98,1
	»	Лейкоксен	2,87	1,23	7,52	0,82	74,24	Н.о	2,02	»	»	»	»	88,7

Примечание. Н.о. — не обнаружено; кр — краевые части пикроильменитов; к — каймы.

\* Железо общее (в скобках — окисное железо, пересчитанное только для пикроильменита).



**Рис. 2. Особенности строения кайм на зернах пикроильменита Тайгикун-Нембинского кимберлитового поля.**

*a* — район тр. Хоркич, пр. 3118 (Ps — перовскит, TiMt — титаномагнетит, Lc — лейкоксен); *б, в* — участок Немба-Дагалдын, пр. 3100. Пояснения см. в тексте.

Объектом исследований явились зерна пикроильменитов как непосредственно из элювия тр. Хоркич, так и из руслового аллювия некоторых водотоков в пределах Тайгикун-Нембинского кимберлитового поля. Всего были изучены 6 отдельных проб пикроильменитов до 100 зерен каждая, отобранных из различных гранулометрических классов и фракций шлихов. Вначале все зерна были изучены с помощью традиционной оптической микроскопии. Было проведено детальное визуальное описание морфологических особенностей минерала с разделением зерен по размеру, форме, характеру поверхностей, классу сохранности, характеру излома. Из каждой пробы пикроильменитов была отобрана случайная выборка до 30—40 зерен для электронно-зондового анализа. Более детально исследованы полиминеральные каймы отдельных зерен размером менее 1 мм с наиболее характерными поверхностями.

Химический состав пикроильменитов, а также особенности строения данных кайм и их фазовый состав были изучены в Центральной аналитической лаборатории Ботубинской геолого-разведочной экспедиции АК „АЛРОСА“ на современной электронно-зондовой системе „Superprobe-8800R“ фирмы „JEOL“ (Япония), объединяющей возможности растрового электронного микроскопа высокого разрешения, анализатора изображений, позволяющего производить подсчет частиц различных минералов на изучаемом микроучастке шлифа, и высокочувствительного микроанализатора. Непосредственно определение химического состава минералов выполнено на пятиканальном волновом микроанализаторе JXA-8800R фирмы „JEOL“ с рентгеноспектральной приставкой LINK-ISIS 300 фирмы „Oxford“ (Англия) с энергетическим разрешением 133 эВ и вакуумным постом JEE-400 фирмы „JEOL“ для напыления образцов проводящей углеродной пленкой (аналитик А.С. Иванов). Перед проведением анализов поверхности полировок тщательно изучались по изображениям в отраженных электронах и исследовались распределения химических элементов в их рентгеновских импульсах (X-RAY) по площади зерен. Концентрации элементов в минералах определены с относительной ошибкой менее 5 % и чувствительностью до 10-п ррм и менее при увеличении времени накопления импульсов. Полный количественный анализ выполнен при ускоряющем напряжении 20 кВ и токе пучка 10 нА. Для внутреннего контроля при изучении составов минералов применялись минеральные стандарты, изготовленные и аттестованные в ОИГГМ СО РАН (г. Новосибирск).

Приведены результаты микросондовых определений (см. таблицу), а также фотографии строения этих кайм, предоставленные А.И. Даком (рис. 2). Точки, в которых выполнены анализы, помечены на рисунках (крестики внутри прямоугольников), а номера точек соответствуют номерам анализов в таблице, проставленных только для приведенных рисунков. В пробах, по которым рисунки отсутствуют, буквами обозначены анализы из краевой (кр) части пикроильменитов и каймы (к) соответственно.

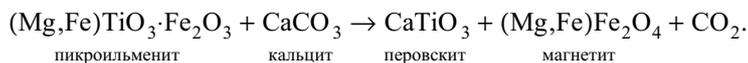
### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Необходимо отметить, что хотя внешне пикроильмениты Тайгикун-Нембинского кимберлитового поля по топографии поверхности зерен несколько отличаются от шиповидных пикроильменитов, характерных для ЯАП [10], но по строению краевых частей зерен и составу кайм сходны. Внешнее отличие заключается в том, что микрорельеф шиповидных пикроильменитов ЯАП обусловлен присутствием на их поверхности правильных шипов, чередующихся с неглубокими впадинами, что и придает зернам „шипастый“ облик. Рельеф на пикроильменитах Тайгикун-Нембинского поля представлен чередованием удлиненных впадин и вытянутых бугорков.

В результате микросондовых исследований среди минералов кайм (см. рис. 2, таблицу), покрывающих зерна пикроильменита, определены лейкоксен (ан. 4, пр. 3118), перовскит (ан. 9, пр. 3100, рис. 2,б), титаномагнетит (ан. 2, 3, пр. 3100, рис. 2,б; ан. 2, пр. 3118), серпентин (ан. 3, пр. 3118) и рутил (ан. 4, пр. 3100, рис. 2,б). Из рис. 2,а видно, что перовскит, титаномагнетит, лейкоксен и серпентин развиты не только с поверхности зерен основного минерала, но присутствуют и в выемках непосредственно глубоко в теле пикроильменита и даже внутри зерен в их краевых частях. Причем перовскит наблюдается в тесном „срастании“ с титаномагнетитом, а последний на отдельных участках — непосредственно с зерном пикроильменита. На этих участках хорошо видно, что титаномагнетит присутствует не в виде наростов, а как бы является продолжением основного зерна пикроильменита, в то же время между пикроильменитом и титаномагнетитом фиксируется четкая фазовая граница (см. рис. 2,а).

Из таблицы следует, что для титаномагнетитов из кайм характерно довольно высокое даже для кимберлитовых разновидностей содержание титана (до 21,2 мас.%  $TiO_2$ ) при повышенном содержании хрома, достигающем 15,28 мас.%  $Cr_2O_3$ . И это притом, что непосредственно в пикроильменитах содержание  $Cr_2O_3$  обычно незначительное и для пр. 3100 и 3118 в среднем составляет 0,26 и 0,44 мас.% соответственно. При пересчете на миналы выяснилось, что данные новообразования относятся к ферришпинелям сложного состава с преобладанием ульвошпинелевого (до 43 мол.%) и магнетитового (до 31 мол.%) компонентов. По составу некоторые из них более соответствуют Cr-содержащим титаномагнетитам (ан. 3, пр. 3100, рис. 2,б) или даже, учитывая относительно невысокие содержания суммарного железа, Cr-Ti-содержащим шпинелидам (ан. 2, пр. 3100, рис. 2,б) [12]. Но данных количеств железа все же достаточно, чтобы обеспечить довольно высокое содержание магнетитового минала  $(Mg,Fe)Fe_2O_4$ .

По оценкам некоторых исследователей замещение пикроильменита магнетитом совместно с перовскитом происходит при  $T=950-970$  °C [4], т. е. непосредственно в кимберлитовом расплаве, и реакция происходит по следующей схеме [4, 12]:



По сути, данные блоки из перовскита и магнетита (титаномагнетита или Cr-Ti-содержащего шпинелида) представляют собой „обрывки“ реакционных кайм, образовавшихся в результате взаимодействия зерен с кимберлитовым расплавом. Для формирования перовскита и магнетита по пикроильмениту необходим в первую очередь высокий потенциал кальция и температура выше 900 °C [4]. Однако только этих условий все же недостаточно, так как дефицит кальция для кимберлитов на самом деле нехарактерен, и порог данных температур они проходят все. Основным условием для успешного протекания реакции является достаточно продолжительное пребывание пикроильменита в условиях данных температур [4], что может достигаться лишь в результате длительного становления кимберлитовых тел. При быстром подъеме магматической колонны в условиях закалки минералов данного замещения вообще может не быть, а если и будет, то незначительное, и выразится наличием на пикроильменитах лишь тонких реакционных кайм из новообразованных минеральных фаз. И чем длительнее процесс становления кимберлитовых тел, тем интенсивнее будет происходить замещение пикроильменита ввиду его неустойчивости в кимберлитовом расплаве, что будет выражаться в наличии на зернах более „мощных“ кайм из новообразованных минералов. При достаточной интенсивности данного процесса замещение может распространяться в глубь зерна в виде отдельных „карманов“ и даже проникать внутрь кристалла (см. рис. 2). При определенных благоприятных условиях пикроильменит почти полностью может заместиться новообразованными минералами. Нечто подобное приходилось наблюдать на снимках по отдельным зернам из пр. 3118, на которых неизменный минерал присутствует лишь в центральной части зерна или в виде небольших участков по всей площади. Таким образом, как бы зачатки „изъеденного“ рельефа (впоследствии шиповатого или микропирамидального) начали зарождаться еще в магматическую стадию,

когда с поверхности зерна пикроильменита в результате достаточно длительного реакционного взаимодействия с кимберлитовым расплавом были замещены новообразованными минеральными фазами, проникающими в виде заливов в тело кристалла.

Довольно часто отдельные участки из перовскита и титаномагнетита окружены лейкоксеном, а иногда как бы погружены в лейкоксеновую массу (см. рис. 2,а). Лейкоксен более низкотемпературный минерал и, по оценкам разных авторов, лейкоксенизация пикроильменитов в кимберлитах происходит в гидротермальную стадию [5—8]. В конкретном случае данный процесс проходил легче и интенсивнее, так как ослабленные в результате длительного высокотемпературного прокаливания, к тому же дефектные и трещиноватые поверхности зерен минерала обуславливали повышенную проницаемость для внешних растворов. В результате минералы реакционных кайм охотнее и быстрее замещались лейкоксеном по сравнению с неизменным пикроильменитом. Можно заметить (см. рис. 2,а), что иногда граница лейкоксена совпадает с границей замещаемого титаномагнетита и как бы является его продолжением, а местами лейкоксенизация ограничена трещиной и не пошла в глубь зерна. Растрескивание глубинных минералов является распространенным процессом и реализуется в довольно широком диапазоне физико-химических условий [6]. Но данная трещиноватость вдоль поверхности зерен пикроильменитов является первичной, понимая под этим ее образование в кимберлите непосредственно при формировании тел. Причем образовалась она либо на последних стадиях магматического процесса, либо в высокотемпературных постмагматических условиях под действием термальных растворов еще до начала лейкоксенизации. В противном случае лейкоксеновые „карманы“ послужили бы препятствием для развития трещин. Из рис. 2,б видно, что трещина проходит через тело пикроильменита и далее, минуя пустоты, трассируется через два „шипа“, причем пустоты между „шипами“ не послужили ей помехой. В то же время в левой части рис. 2,а можно увидеть, что трещиноватость вдоль поверхности зерна одинаково рассекает как тело неизменного пикроильменита, так и заместивший его титаномагнетит, а также прослеживается и через изолированный лейкоксеном от основного зерна небольшой реликтовый участок титаномагнетита. Трещина прослеживается и по лейкоксену в виде более сгущенных, линейно ориентированных микропустоток. Данное обстоятельство также говорит в пользу того, что трещиноватость образовалась после процесса реакционного замещения пикроильменита новообразованными минералами (или почти одновременно с ним), но еще до лейкоксенизации.

Присутствующий в кайме серпентин (см. рис. 2,а, ан. 3) не является примазками основной массы кимберлита, так как хорошо видно, что на одних участках он как бы прорастает через лейкоксен, а на других — является продолжением титаномагнетита с полным совпадением границ. Небольшие участки серпентина отмечаются также внутри зерна пикроильменита совместно с лейкоксеном и титаномагнетитом. Это свидетельствует о том, что серпентин в данном случае, так же как и лейкоксен, является продуктом постмагматического замещения или непосредственно пикроильменита, или реакционных новообразований.

Из рис. 2 также хорошо видно, что „шпы“ вовсе не представляют собой наросты из каких-то иных минеральных фаз, а являются продолжением основного зерна и представлены таким же пикроильменитом. Резкое отличие в составе „шпипов“ и пикроильменита не отмечается, хотя и наблюдается незначительное обогащение краевых частей  $MgO$ ,  $TiO_2$ , в отдельных случаях  $Cr_2O_3$  и  $MnO$  и некоторое обеднение железом. Аналогичное обстоятельство позволило В.И. Вуйко и Н.И. Гореву [11] отнести шпиповидные поверхности на пикроильменитах Хатырыкского ореола (Малоботуобинский район) к вторичным, образовавшимся в гипергенных условиях. По их мнению, в пикроильменитах под воздействием выветривания не выносятся или уходят очень медленно  $Ti$ ,  $Mg$  и  $Cr$  (происходит накопление этих элементов в краевых зонах) и относительно быстро выщелачивается железо, так как трехвалентные элементы являются „неудобными“ в структурном отношении. Но из рассматриваемого нами примера с тайгикунскими пикроильменитами следует, что изменение химического состава краевых частей зерен происходило в постмагматическую (гидротермально-метасоматическую) стадию, так как повышенная трещиноватость стимулировала проявление диффузионных процессов. Именно при лейкоксенизации, по мнению В.П. Афанасьева [5], осуществляется вынос  $Fe$ , иногда  $Mg$  и происходит накопление в краевых частях  $Ti$  и  $Cr$ , что и наблюдается в пикроильменитах Эвенкии. Частичное перераспределение химических элементов могло иметь место и в магматическую стадию. О том, что в крупных ксенокристаллах пикроильменита из кимберлитов от ядра к периферии возможно возрастание содержания магния, хрома и марганца отмечал еще Дж. Доусон [2]. Изменение химического состава внешней зоны могло произойти в результате образования реакционных кайм, что выразилось не только в повышенном содержании хрома в титаномагнетитах, но и некотором повышении хромистости и магнизальности краевых частей пикроильменита.

После становления кимберлитовых тел, в экзогенных условиях в пределах Тайгикун-Нембинского поля на кимберлитовых минералах сказались и процессы гипергенеза. Но на пикроильменитах они проявились лишь в виде коррозионного растрескивания зерен, из-за чего какая-то их часть и приобрела такое состояние, когда при незначительном усилии они рассыпаются. В гипергенных условиях мог также произойти вынос какой-то части химических элементов, например железа, но данный процесс, если и имел

место, то был наложенным, а не главенствующим. В коре выветривания, по оценкам многих авторов [6, 8] и как показывают наблюдения, не происходит значительной лейкоксенизации пикроильменитов, так как примеси марганца и особенно магния замедляют этот процесс [7, 8]. К тому же, если и происходит лейкоксенизация, то данный процесс осуществляется по несколько иному пути: замещение идет объем на объем и рельеф растворения не возникает [5—8]. В данном случае формирование кайм происходило с поверхности зерен и сразу по всему контуру. В то же время на рис. 2,б виден небольшой изолированный участок зерна овальной формы практически нацело выполненный рутилом (анатазом?), а пикроильменит присутствует лишь в виде небольших искривленных ламеллеобразных выделений. На первый взгляд может показаться, что данные выделения пикроильменита являются структурами распада твердого раствора. Но в конкретном случае данные новообразования все же не являются таковыми, так как из рис. 2,в видно, что замещение пикроильменита рутиловой фазой идет путем прорастания удлинённых выделений через весь объем зерна. В то же время можно видеть, что в замещаемых рутилом участках сохраняются вытянутые остаточные реликты пикроильменита. При более глубоком протекании данного процесса зерно почти полностью может заместиться рутилом, и от первоначального минерала останутся лишь небольшие ламеллеобразные выделения. В данном случае замещение идет совершенно по иному пути, чем образование реакционных кайм и последующее их замещение вторичными продуктами: не с поверхности зерна, а объем на объем. Как уже отмечалось выше, образование рутила по пикроильмениту может осуществляться в широком диапазоне обстановок [5, 6], в том числе замещение пикроильменита как рутилом, так и анатазом могло произойти в постмагматическую стадию [13]. В то же время нельзя исключать, что данные замещения произошли именно в гипергенных условиях. Имеются и другие объяснения подобного явления, например, как результат термального разложения армалколита:  $(\text{FeMgTiO}_3 \rightarrow \text{FeMgTiO}_5 + \text{TiO}_2)$  [2]. Где происходил данный процесс, конкретно сказать трудно, для этого нужны более детальные исследования. Отметим лишь, что для остаточных выделений пикроильменита характерно аномально высокое содержание титана, достигающее 66,59 мас.%  $\text{TiO}_2$ , что совершенно не характерно для обычных зерен. При этом отмечается высокое содержание магния и низкое марганца, а также довольно низкие значения общего железа (21,6—27,6 мас.%) при полном отсутствии  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, образование кайм и характерного рельефа на пикроильменитах Тайгикун-Нембинского поля являлось процессом достаточно длительным. На первом этапе, в магматическую стадию, в процессе длительного этапа становления кимберлитовых тел происходило образование довольно интенсивных реакционных кайм в результате взаимодействия зерен с кимберлитовым расплавом. Новообразованные минеральные фазы были представлены преимущественно перовскитом и титаномагнетитом. Именно в данный этап произошло как бы предварительное оформление „изъеденного“ рельефа в результате образования глубоких заливов в теле пикроильменита, выполненных перовскитом и титаномагнетитом (Ст-Тi-содержащим шпинелидом). На втором этапе, в постмагматическую стадию под действием агрессивных термальных растворов произошло замещение (коррозия) минералов реакционных кайм, а также дефектных (трещиноватых) участков пикроильменита лейкоксеном и серпентином. Причем как в первую, так и во вторую стадии замещение дефектной поверхностной зоны происходило с изменением интегрального химического состава краевой части пикроильменитов. В результате зерна приобрели тот облик, который и наблюдается на данный момент на пикроильменитах Эвенкии (см. рис. 2). Гипергенные процессы если и имели место в данном случае, то носили наложенный характер и незначительно изменили сформировавшийся облик минерала. Однако необходимо отметить, что при более интенсивном процессе замещения новообразованные минеральные фазы реакционных кайм могут быть полностью выполнены вторичными минералами, такими как лейкоксен, серпентин и другие. Более того, в гипергенных условиях, в том числе и в осадочном коллекторе, может происходить интенсивное выветривание данных кайм, в результате чего произойдет их разрушение до полного выщелачивания и даже замещения глинистыми или другими образованиями осадочного происхождения. В итоге, зерна пикроильменита будут приобретать более контрастный, „изъеденный“ вид, а сами „шипы“ и впадины, как и в целом поверхности зерен в результате растворения, — характерный блеск. В этом случае как раз и может создаться ложное впечатление о вторичном (экзогенном) происхождении подобного рельефа. Тем не менее данные поверхности следует считать первичными, подчеркивая этим их образование непосредственно при становлении кимберлитовых тел, и называть образовавшийся рельеф реакционно-коррозионным. Независимо от того, сохранились или нет реакционные новообразования и даже вторичный лейкоксен по периферии зерен пикроильменита, данные поверхности являются первичными, прежде всего в поисковом отношении, так как облик минералов, окончательно сформировавшийся на заключительном этапе постмагматической стадии, является первичным в отношении процессов формирования шлиховых ореолов [5]. Подчеркнем, что реакционно-коррозионный рельеф характерен не только для пикроильменитов из россыпей Тайгикун-Нембинского поля, но и непосредственно для кимберлитовой тр. Хоркич.

Шиповидный (микропирамидальный) рельеф на пикроильменитах образовывался по схеме, схожей с описанной выше, и также имеет реакционно-коррозионный генезис. Внешняя топография поверхности зерен в некоторой степени будет зависеть от строения вторичных минеральных агрегатов, выполняющих каймы, и морфологических особенностей отдельных их кристаллов. Так, если каймы будут иметь вид сплошных зернистых или эмалевидных агрегатов, то и поверхность будет шиповидной, а сам рельеф под каймой будет выглядеть как чередование „шипов“ и неглубоких впадин. Если же в строении кайм будут преобладать игольчатые и лучистые агрегаты, то поверхности зерен будут иметь вид, аналогичный пикроильменитам, показанным на рис. 1, а рельеф под каймой будет выглядеть в виде чередования удлиненных впадин и вытянутых бугорков. Все данные поверхности весьма чувствительны к механическому воздействию и наличие зерен пикроильменита с реакционно-коррозионным рельефом будет свидетельствовать о близости их коренных источников. Пренебрежение данными фактами и принятие первичного реакционно-коррозионного рельефа за гипергенное растворение чревато непоправимыми последствиями и пропуском кимберлитовых тел, что может весьма отрицательно сказаться на производстве алмазопроисковых работ.

В заключение следует отметить, что наличие довольно интенсивного реакционно-коррозионного рельефа, подобного образованному на пикроильменитах Тайгикун-Нембинского поля, может являться отрицательным фактором алмазоносности кимберлитовых тел. Связано это с тем, что формирование данного рельефа происходит в результате довольно длительного становления кимберлитов, что, в свою очередь, является неблагоприятным фактором сохранности алмазов. К тому же  $\text{CO}_2$ , выделяющаяся при образовании перовскита с магнетитом в условиях высоких температур ( $> 900^\circ\text{C}$ ), является сильным окислителем алмаза [4]. Впрочем, данное предположение нуждается в проверке на конкретных кимберлитовых телах.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Геология** и генезис алмазных месторождений. Кн. 2 / Под ред. Б.М. Зубарева. М., Мингео СССР. ЦНИГРИ, 1989, 424 с.
2. **Доусон Дж.** Кимберлиты и ксенолиты в них. М., Наука, 1983, 300 с.
3. **Бобривич А.П., Илупин И.П., Козлов И.Т. и др.** Петрология и минералогия кимберлитовых пород Якутии. М., Недра, 1964, 189 с.
4. **Амшинский А.Н.** Минералы-спутники алмазов из кимберлитов Далдыно-Алакитского района: Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Новосибирск, ИГиГ СО АН СССР, 1985, 17 с.
5. **Афанасьев В.П.** Основы шлихоминералогических поисков месторождений алмазов: Автореф. дис. ... д-ра геол.-мин. наук. М., ЦНИГРИ, 1991, 43 с.
6. **Афанасьев В.П., Зинчук Н.Н., Похиленко Н.П.** Морфология и морфогенез индикаторных минералов кимберлитов. Новосибирск, Изд-во СО РАН, Филиал „Гео“, 2001, 276 с.
7. **Подвысоцкий В.Т.** Терригенные алмазоносные формации Сибирской платформы. Якутск, ЯФ Изд-ва СО РАН, 2000, 332 с.
8. **Подвысоцкий В.Т.** Использование рудного микроскопа для диагностики, изучения внутреннего строения зерен пикроильменитов из ореолов и определения природы кайм на их поверхности: Рекомендация. Мирный, ЯНИГП ЦНИГРИ, 1999, 18 с.
9. **Антипин И.И., Антипин И.Ив.** Нетрадиционные источники индикаторных минералов кимберлитов бассейна р. Ниж. Тунгуска // Проблемы алмазной геологии и некоторые пути их решения. Воронеж, Изд-во Воронежского университета, 2001, с. 345—351.
10. **Хмельков А.М.** О природе шиповатой поверхности пикроильменитов (на примере ореолов Муно-Тюнгского водораздела) // Проблемы прогнозирования, поисков и изучения месторождений полезных ископаемых на пороге XXI века. Воронеж, Изд-во Воронежского университета, 2003, с. 256—258.
11. **Вуйко В.И., Горев Н.И.** О генезисе пикроильменитов из верхнепалеозойских ореолов рассеяния кимберлитовых минералов Западной Якутии // Зап. ВМО, 1994, вып. 6, с. 67—73.
12. **Гаранин В.К., Егорова Н.Б., Жилыева В.А. и др.** Состав и магнитные свойства оксидов из кимберлитов юго-западной окраины Анабарского щита // Исследования высокобарических минералов. М., Наука, 1987, с. 108—149.
13. **Милашев В.А.** Кимберлиты и глубинная геология. Л., Недра, 1990, 167 с.

*Рекомендована к печати 9 августа 2004 г.  
Н.В. Соболевым*

*Поступила в редакцию 16 июля 2003 г.,  
после доработки — 19 апреля 2004 г.*