

К ПРОБЛЕМЕ ПРОИСХОЖДЕНИЯ САМОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ, КАРБИДОВ, СИЛИЦИДОВ И НЕКОТОРЫХ КОРУНДОВ УФИМСКОГО ПЛАТО

А.Ю. Кисин, А.Б. Макеев, В.Н. Филиппов

На локальных участках Уфимского плато встречается комплекс несколько необычных минералов, которые принято связывать с техногенным загрязнением. К ним относятся металлы и их сплавы, различные карбиды и силициды, стекла, шлаковые частицы и т. п. Уфимское плато представляется достаточно перспективным для обнаружения коренных источников алмазов, и по этой причине представляет интерес и происхождение выше перечисленных образований, поскольку все они описаны и на месторождениях алмазов [Маршинцев, 1991 и др.]. Типичные минералы-спутники алмаза здесь имеются, но встречаются редко. К числу «нетрадиционных» минералов-спутников алмаза, возможно, относится и обширная группа самородных металлов, интраметаллидов и металлоорганических соединений, как это предлагается Соболевым и др. [2003]. Имеется еще ряд экзотических минералов, которые могут иметь отношение к алмазам. Это карбиды, си-

лициды и, возможно, корунд необычного генезиса. Некоторые из этих образований исследованы на сканирующем электронном микроскопе JSM-6400 в ИГ КНЦ УрО РАН в г. Сыктывкаре.

В рыхлых отложениях на плато все эти образования всегда ассоциируют с минералами ультраосновного парагенезиса (оливином, серпентинами, пироксенами, хромшпинелидами и т. п.), стеклами, шлаковыми частицами, магнитными шариками, сидеритом и битумами. Поскольку на площади имеются месторождения нефти, то появление битумов вопросов не вызывает. В отношении других образований можно отметить, что все они имеют шлиховую размерность (около 1 мм в поперечнике, редко до 3 мм) и различную степень окатанности. Некоторые участки удалены от крупных населенных пунктов и дорог с твердым покрытием на расстояние до 50 км. В серпентинах отмечены включения пирофанита, очень редкого

минерала, неизвестного в серпентинитах Урала. От коренных источников серпентиниты переносятся водным потоком на расстояние не более 1,5 км [Соболев и др., 2003]. Наличие на некоторых зернах минералов ультраосновного парагенезиса корочек тонко диспергированного серпентина может быть объяснено только близостью коренных источников, расположенных, вероятно, на расстоянии не более первых сотен метров. Это позволяет предполагать местные источники и для других минералов, перечисленных выше.

Самородные металлы и интраметаллиды. Микронзондовыми исследованиями пока изучена лишь небольшая группа самородных металлов и их сплавов с двух участков плато, расположенных на расстоянии около 30 км друг от друга (табл. 1). Среди них наибольшим распространением пользуется железо, за которым в порядке убывания следуют свинец, медь, олово и др. Железо обычно представлено мелкими шариками белого или слегка желтоватого цвета без признаков коррозии. Свинец встречается в виде неправильных пластинчатых образований до 2 см в поперечнике, сильно деформированных зерен (типа стружки), комковатых обособлений и шариков диаметром редко превышающим 1 мм. С поверхности свинец всегда покрыт оксидной коркой. Пленки свинца отмечены на кусочках известняка, на поверхности серпентина, силлиманита, ставролита, диферрисилицида и других минералов; свинец в повышенных количествах фиксируется в глинистых образованиях в кавернах некоторых минералов. Кроме аллювиально-делювиальных отложений свинец встречен в маломощной линзе коричневых монтмориллонитовых глин, согласно залегающих в известняках. Здесь также отмечены знаки золота. Для свинца характерна примесь сурьмы, олова, иногда меди. Медь наблюдается в виде мелких шариков, менее 1 мм диаметром, и обычно покрыта коркой малахита. Иногда отмечается примесь олова, цинка, свинца. Олово встречено в виде комковатых образований до 2 мм поперечником. Судя по ассоциации с крокоитом, гидротермальным путем формировалась, вероятно, только некоторая часть свинца. Но крокоит мог образоваться и позднее. Основная же масса металлов и их сплавов образовалась, вероятно, в результате плавления, о чем свидетельствуют стекла и шлаковые частицы, нередко содержащие данные металлы.

Муассанит обычно окрашен в голубовато-зеленый цвет различной интенсивности. Реже наблюдаются темные индигово-синие, серые или бесцветные разности. Прозрачный. Представлен обломками зерен с алмазным блеском, реже хорошо ограненными или округлыми кристаллами, до 1 мм поперечником, без признаков механического износа поверхности. На некоторых участках муассанит наблюдается в виде включений в «плавленом» корунде, о котором речь пойдет ниже. Отмечен он также в нерастворимом остатке дырчатого брекчиевого известняка из аллювия р. Сараны, совместно с обломками кремней, кварцем, ставролитом, дистеном, хромшпинелидом, рутилом, цирконом, амфиболами, эпидотом и золотом. Примечательно, что золото на плато встречается исключительно редко. Рентгенофазовым анализом муассанит (совместно с кварцем, рутилом, цирконом, ильменитом, амфиболом, тальком, пирротинитом, диферрисилицидом и когенитом) установлен в тонкой тяжелой фракции нерастворимого остатка выше упомянутых сидеритов. В крупной фракции нерастворимого остатка отмечены кварц, графит, слюда, циркон, металлоорганические соединения желто-зеленого цвета.

«Плавленый» корунд. Под этим условным названием выделена группа минералов, по структуре отвечающая корунду, но резко непостоянного состава. Встречаются они в виде осколков, иногда с плохо развитыми единичными гранями. Цвет коричневый, коричнево-розовый, розовый до темно-красного, сероватосиний, бесцветный. Обычно прозрачные, за исключением камней синей окраски, которые всегда мутные. Блеск стеклянный или сильный стеклянный. Твердость соответствует корунду. Рентгенофазовый анализ показывает структуру корунда. В качестве включений обычны муассанит и диферрисилицид. Реже наблюдаются более сложные силициды, например, $(\text{Fe}, \text{Mn}, \text{V})\text{Si}$, $(\text{Fe}, \text{Mn}, \text{Ti})\text{Si}$. Встречено включение бадделиита. В камнях красной окраски иногда наблюдаются мелкие металловидные шарики, вокруг которых цвет сгущается. Микронзондовый анализ показал, что это чистый хром. Минералогия включений в «плавленом» корунде, вероятно, более широкая, поскольку пока изучались корунды только с одного участка. В данных корундах широко распространены брекчиевидные структуры, когда несколько обломков корунда данных образований как бы

Химический состав самородных металлов и сплавов

№ пр.	Pb	Sn	Sb	Cu	Zn	Fe	Сумма	Характеристики
5/50	73,16	-	25,30	-	-	-	98,50	Pb-Sb
5/51	62,97	7,25	7,47	-	-	-	77,68	Pb-Sn-Sb
5/52	3,53	37,04	24,42	24,67	-	-	93,61	Pb-Sn-Sb-Cu
5/54	66,72	-	15,80	2,13	-	-	86,39	Pb-Sb
2/1	-	-	-	82,22	0,17	0,74	83,13	Cu
2/1a	64,63	-	-	10,73	2,71	0,92	78,99	Pb-Cu
6a	7,48	91,01	0,42	1,05	0,22	-	100,18	Sn-Pb
2/5	61,48	13,87	15,42	6,84	0,42	0,56	98,59	Pb-Sn-Sb-Cu
2/5a	-	-	-	79,75	-	0,24	79,99	Cu
2/4a	57,33	19,21	-	11,68	0,97	0,39	90,05	Pb-Sb пленка
2/4б	84,75	1,09	-	6,06	-	-	92,68	Pb пленка
2/4	0,09	1,47	-	90,73	4,38	0,43	97,81	Cu зерно
2/3a	1,60	6,96	0,42	66,29	5,41	0,92	82,89	Cu зерно
3/3Г	76,49	-	0,35	0,89	-	-	77,73	Pb пленка
6в	80,50	14,89	-	0,46	0,08	0,17	96,10	Pb-Sn
6б	27,81	66,12	1,00	0,62	0,16	0,38	96,09	Pb-Sn

№ пр.	Fe	Mn	Cu	Pb	Sb	Сумма	Характеристика
1/1	0,05	-	0,25	65,21	34,49	100,0	Pb-Sb
1/1a	0,11	-	0,09	62,70	37,16	100,06	Pb-Sb
1/2	-	-	0,21	99,24	0,47	99,92	Pb
1/3	1,06	0,43	0,29	67,15	2,72	71,64	PbO
1/3a	0,10	-	-	91,26	8,67	100,02	Pb-Sb
1/4	0,20	0,04	0,78	90,81	-	91,83	Pb
1/5	-	-	0,14	97,28	0,26	97,66	Pb
4/1	1,50	0,27	85,73	-	0,40	92,19	Cu

№ пр.	Al	Si	Ti	Cr	Mn	Fe	Cu	Сумма
5/53	7,44	5,34	35,57	0,62	0,70	46,30	0,95	98,91
5/53a	10,86	5,35	35,23	0,70	0,89	45,57	1,31	99,90
5/53б	10,99	5,93	35,09	0,74	0,70	45,33	1,19	99,98
5/17	-	-	-	92,85	-	0,15	0,02	93,06
3/4б	0,12	0,23	-	77,93	0,09	21,13	0,49	99,99
3/4a	0,26	0,23	0,02	77,82	0,12	20,77	0,42	99,64
3/2	-	-	-	14,75	7,05	76,37	-	100,10

Примечание: содержание S в 2/4a – 0,32, 2/4б – 0,78, 2/4 – 0,06, 2/3a – 0,39. В 4/1 примесь Sn – 2,06, Zn – 2,23. Примесь Ni в 5/52 – 3,94, 2/4a – 1,15, 2/4 – 0,65, 2/3a – 0,90, 3/2 – 1,94.

«сварены» между собой, и наблюдается рас-
трескивание (рис. 1, А). Вариации химическо-
го состава некоторых из этих минералов пока-
заны в таблице 2. Как следует из нее, имеет-
ся три главных направления усложнения форму-
лы корунда: по железу, по хрому и по титану.

Некоторые обломки корунда покрыты
тонкой красно-коричневой коркой, по составу
отвечающей калиевому полевому шпату. Име-
ются также железо-титановые или «ильмени-
товые» пленки. На поверхности сколов иногда
наблюдаются скульптуры регенерации (рис. 1,

Б). Подобные структуры регенерации поверх-
ности корунда наблюдались одним из авторов
(А.К.) в экспериментах по осаждению корун-
да из газовой фазы при температуре около
1300°C. Необычность «плавленного» корунда по
облику, химическому составу и включениям
также наводят на мысль об осаждении его из
газовой фазы. В таком случае, прилагательные
«плавленный» или «оплавленный» characterи-
зуют его не верно. Правильнее его было бы на-
зывать «конденсированным корундом». Подоби-
ный корунд был встречен одним из авторов

(А.К.) в пробе из скважины с глубины 19 м, пробуренной на борту р. Алабашка, на Мурзинско-Адуйском комплексе (восточный склон Урала).

Подобные образования под названием «оплавленный корунд» отмечены И.И. Чайковским в алмазонасных объектах на западном склоне Урала [Чайковский, 2001, 2006; Силаев и др., 2004]. Корунд здесь имеет дымчатую,

реже голубую и розовую окраску (0,65-1,9 мас. % Cr_2O_3). Включения почти аналогичны для корундов плато, включая бадделит. Происхождение корунда связывается с плазменными процессами. «Алмазонасный пирокластический материал испытывает не только действие ударной волны, связанной с расширением газов, но и взрывное окисление, создающие условия близкие к плазменным» [Чайковский, 2006, с. 201]. Это высказывание довольно близко к нашим представлениям об образовании «плавленного» корунда, с той лишь разницей, что нет необходимости в достижении столь высоких температур.

Силициды присутствуют на всех участках, где имеется муассанит и «плавленный» корунд, но изучались они только с одного из них. Судя по результатам анализов (табл. 3), наибольшим распространением пользуются силициды железа. По внешнему виду они напоминают пирротин. Представлены силициды остроугольными обломками или округлыми обособлениями (рис. 2, А). При этом иногда на по-

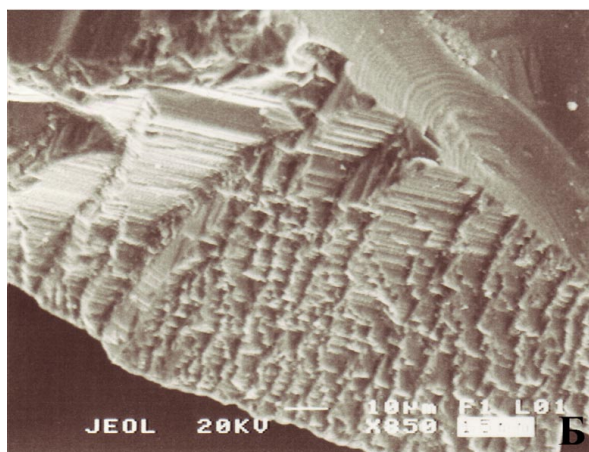
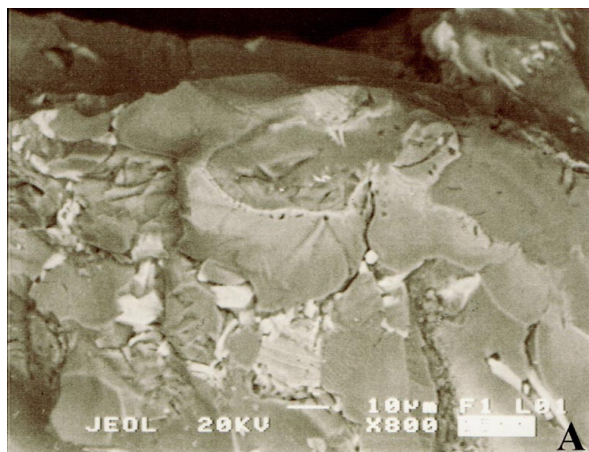


Рис. 1. А – брекчиевидная структура «плавленного» корунда, Б – поверхность регенерации на «плавленом» корунде.

Таблица 2

Химический состав «плавленного» корунда

№пр.	Al_2O_3	TiO_2	Cr_2O_3	Fe_2O_3	Сумма
37	98,88	0,88	0,26	-	100,02
37/9	98,68	1,44	-	-	100,12
38/1	96,29	-	3,03	0,60	99,92
38/2	99,23	-	0,52	-	99,75
38/4	96,50	0,54	2,85	-	99,35
38/5	98,53	1,24	-	-	99,77
38/9	64,47	-	34,54	-	99,11
38	60,12	-	32,97	-	93,09
13	82,47	0,81	16,80	-	100,08



Рис. 2. А – округлое обособление дифферисилицида, Б – фрагмент поверхности дифферисилицида.

Химический состав силицидов

№пр.	Al	Si	Ti	Cr	Mn	Fe	Сумма	Формула
5/55	49,26	16,03	–	0,28	0,21	23,84	90,32	Al ₂ FeSi
3/3a	1,28	28,77	0,68	0,62	0,44	68,21	100,00	Fe ₂ Si
3/1	0,14	21,37	–	–	0,03	80,95	102,49	Fe ₃ Si
3/36	0,27	19,56	3,31	1,29	0,63	74,93	99,99	Fe ₃ Si
3/36+	1,10	20,13	29,18	0,35	0,10	39,82	91,90	FeTiSi

Примечание: в 3/36+ содержание Zr – 1,60, V – 1,22.

верхности отчетливо видна «комковатая» структура, или мелкоямчатая с микрокаверной в центре (рис. 2, Б). Немагнитный. В качестве включений отмечены более сложные силициды: (Mo,W,Ti)Si₂, (Fe,Ti,V,W)Si₂, TiFeSi. В одном случае на поверхности диферрисилицида отмечена пленка свинца.

Силициды являются наиболее распространенными включениями в «плавленом» корунде и отмечены в муассаните. Муассанит, в свою очередь, нередко наблюдается в виде включений в «плавленом» корунде. Отсюда можно заключить, что раньше образовались силициды, затем карбиды, а позднее корунды. Образование их, вероятно, проходило в потоке восстановленных газов. С газовым потоком связано, вероятно, и появление некоторых самородных металлов и интраметаллидов. Самородные металлы и их сплавы, карбиды и силициды описаны в кимберлитах, а некоторые из них и в качестве включений в алмазах [Маршинцев, 1991 и др.]. Характерны они и для алмазоносных объектов западного склона Урала [Силаев и др., 2004; Чайковский, 2001 и 2006]. Поэтому нет ничего удивительного в нахождении их и на Уфимском плато, где прогнозируются коренные источники алмазов. Высокие содержания хрома, отмеченные в «плавленом» корунде, хорошо согласуются с аномально высокими содержаниями хрома в корундах, включенных в алмазы Бразилии [Hutchison et al., 2003].

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (грант № 04-05-96093).

Список литературы

Маршинцев В.К. Основные этапы самородного минералообразования в кимберлитах // Самородное металлообразование в магматическом процессе. Сб. науч. трудов. Якутск: ЯНЦ СО АН СССР, 1991. С. 67-84.

Соболев В.К., Макеев А.Б., Кисель С.И. и др. Новые индикаторные признаки пород, вмещающих кимберлиты. Сыктывкар: Геопринт, 2003. 60 с.

Силаев В.И., Чайковский И.И., Ракин В.И. и др. Алмазы из флюидизатно-эксплозивных брекчий на Северном Урале. Сыктывкар: Геопринт, 2004. 116 с.

Чайковский И.И. Петрология и минералогия интрузивных алмазоносных пирокластитов Вишерского Урала. Пермь: Изд-во Пермского ун-та, 2001. 324 с.

Чайковский И.И. Индикаторы плазменных процессов в алмазоносных пирокластитах Среднего Урала // Теория, история, философия и практика минералогии: Мат-лы IV Междунар. минералогического семинара. Сыктывкар: Геопринт, 2006. С. 200-201.

Hutchison M.T., Nixon P.H., Harley S.L. Corundum inclusions in diamonds – discriminator criteria and a corundum compositional dataset // 8 International Kimberlite Conference, Victoria. Lithos. 2004. V. 77. № 1-4. P. 273-286.