

С. Г. Скублов, В. А. Ловягин, Г. Т. Скублов, О. М. Тюгай¹

ГЕОХИМИЯ МИКРОТЕКТИТОВ КРАТЕРА ЖАМАНШИН

Микротектиты являются небольшими (размером, как правило, менее 1 мм) тектитами различных форм, окраски и степени прозрачности, присутствующими в трех из четырех известных полей рассеяния тектитов, а также в породах, маркирующих меловую–третичную (К/Т) границу. Они играют важную роль в определении границ полей рассеяния тектитов, их стратиграфического возраста и несут дополнительную информацию о связи тектитов с импактным событием и о местоположении импактного кратера [1, 2]. Последние исследования, в том числе и геохимические, показали, что их нельзя считать просто уменьшенными копиями или обломками тектитов, поскольку они могли появляться в разные фазы импактного процесса. Среди микротектитов по составу резко выделяются «бутылочно-зеленые», отличающиеся повышенным содержанием Mg, Fe и сидерофильных элементов и пониженным кремнезема и щелочей. Было высказано предположение, что эта разновидность микротектитов могла быть образована в переходной зоне между выбросом расплавленного тектитового стекла и облаком испарившегося импактного тела (болида), контаминировавшего «бутылочно-зеленые» микротектиты [3, 4 и др.].

Кратер Жаманшин (Казахстан) является единственной импактной структурой в мире, в которой были обнаружены импактные стекла – жаманшиниты вместе с сопоставляемыми с тектитами иргизитами и микротектиты [5, 6 и др.]. Несмотря на многолетнее исследование импактных стекол этого кратера микротектиты остаются слабо изученными. Б. П. Гласс с соавторами выделили несколько групп микроскопических стеклянных сферул, назвав их «микроиргизитами» [7], различающихся в первую очередь по степени прозрачности и пористости. По содержанию главных элементов микроиргизиты оказались близки к иргизитам и кислым жаманшинитам, отличаясь пониженным содержанием кремнезема и обнаруживая большие вариации состава. Повышенная концентрация Ni в иргизитах и микроиргизитах была объяснена контаминацией метеоритного вещества [7]. Более детальное изучение геохимии микротектитов кратера Жаманшин до настоящего времени не проводилось. Развитие новых аналитических методов позволяет действительно решить такие проблемы, как определение источника пород при импактогенезе и однородность импактного расплава [8, 9].

Предыдущий анализ геохимии иргизитов и кислых жаманшинитов обнаружил их значительные отличия по содержанию ряда редких элементов [10, 11]. По нашему мнению, они вызваны комбинацией целого ряда факторов: ликвацией в первичном импактном расплаве (разделение Ti, Zr, Nb, Ca, Mg, Fe) и последующим участием части этого расплава в формировании иргизитов, контаминацией иргизитами метеоритного вещества (увеличение содержания Ni, Co, Cr и Cr/V отношения), особыми условиями образования иргизитов (удаление летучих B, Na, K).

По аналогичной методике была исследована геохимия микротектитов, выделенных из верхнего почвенного слоя кратера Жаманшин.

Всего из одного образца почвы весом 300 г было отобрано вручную под биноклем около 1250 стеклянных шариков (сферул) размером от 0,1 до 1,5 мм с преобладанием диаметра 0,3–0,7 мм. Микротектиты были разделены на четыре группы (таблица): гетерогенные сферулы, состоящие из переслаивающегося разнородного светлого и темного стекол (образцы № 50-1–82); зеленые сферулы, различающиеся между собой по интенсивности окраски (образцы № 7–52); черно-зеленые сферулы эллипсоидной формы (образцы № 26–81) с характерной тонкой каймой черного стекла, заметной в проходящем свете: микроиргизиты (образцы № 63-1–125), внешне идентичные с иргизитами, черного цвета с блестящим оттенком, иногда каплевидной, гантелеобразной формы, но чаще в виде

¹ ТОО Горно-Экономический консалтинг. Республика Казахстан, Алматы.

© С. Г. Скублов, В. А. Ловягин, Г. Т. Скублов, О. М. Тюгай, 2005

Химический состав микротектитов кратера Жаманшин

Компонент	Гетерогенные сферулы					Зеленые сферулы							
						светло-зеленые				темно-зеленые			
	Номер образца												
	50-1	50-2	50-3	54	82	7	14	16	31	36	38	39	52
Na ₂ O	2,04	2,49	2,40	1,79	1,76	1,88	1,69	1,51	1,75	1,87	1,46	1,75	1,72
MgO	3,04	2,49	2,63	5,13	5,23	1,24	3,74	2,27	6,61	5,50	7,21	5,93	6,65
Al ₂ O ₃	15,86	19,56	13,40	14,35	16,25	12,31	15,84	12,36	12,89	12,65	12,14	13,62	12,35
SiO ₂	63,09	58,31	68,52	63,61	59,83	74,87	66,16	69,96	62,53	63,84	61,77	61,82	61,77
K ₂ O	1,75	1,74	1,99	1,86	1,57	2,06	1,84	1,61	1,62	1,63	1,28	1,71	1,33
CaO	4,93	5,77	3,52	2,53	1,91	2,24	2,12	6,17	2,17	2,88	2,50	3,13	3,01
TiO ₂	0,74	0,93	0,60	0,69	0,74	0,62	0,74	0,63	0,75	0,74	0,57	0,81	0,74
MnO	0,15	0,17	0,08	0,13	0,19	0,12	0,16	0,09	0,19	0,23	0,18	0,16	0,12
FeO*	8,25	8,33	6,75	9,61	12,24	4,54	7,51	5,18	11,16	10,32	12,26	10,65	11,91
CoO	0,11	0,18	–	–	–	0,06	0,07	0,10	0,04	0,14	0,09	–	0,13
NiO	–	0,04	0,07	0,20	0,23	0,01	0,09	0,03	0,22	0,08	0,42	0,24	0,15
Cr ₂ O ₃	0,05	–	0,04	0,09	0,06	0,07	0,06	0,10	0,08	0,12	0,13	0,19	0,12
Сумма	100,01	100,01	100,00	99,99	100,01	100,02	100,02	100,01	100,01	100,00	100,01	100,01	100,00
La	22,2	14,2	22,9	25,1	15,5	21,7	27,2	32,9	20,2	22,0	17,9	23,3	23,4
Ce	41,0	29,2	44,9	49,1	33,1	45,4	52,0	62,6	40,5	45,4	39,4	48,6	45,9
Nd	21,5	16,9	21,3	23,2	15,7	21,6	24,0	31,3	18,3	21,0	17,8	21,2	21,3
Sm	4,37	3,37	4,46	4,50	3,55	4,79	4,39	6,40	3,68	4,36	3,98	4,62	4,59
Eu	0,83	1,12	0,80	1,01	0,88	1,02	1,01	1,09	0,63	0,79	0,57	0,88	0,62
Gd	3,67	4,77	4,09	4,96	3,00	4,18	4,57	5,39	3,69	3,34	4,31	2,88	4,54
Dy	3,98	3,28	3,65	3,69	3,16	3,72	4,07	5,18	3,04	3,55	3,57	3,53	3,89
Er	2,63	2,19	2,59	2,44	2,19	2,57	2,62	3,50	2,00	2,67	2,18	2,29	2,67
Yb	2,73	1,81	2,52	2,39	2,15	2,53	2,31	3,35	2,17	2,46	2,19	2,56	2,27
Li	19,0	29,7	24,1	34,0	26,3	21,0	31,7	23,8	35,0	27,2	20,6	30,4	24,1
Be	1,61	1,15	1,83	2,01	1,22	2,17	2,57	2,32	1,57	1,97	1,33	1,76	1,70
B	14,2	41,8	18,0	19,4	20,5	3,2	3,6	1,3	6,7	5,7	2,0	11,1	3,1
Ti	3326	5098	3826	4081	3995	3166	4662	3467	3895	3684	3536	3768	3657
V	136,0	210,3	137,6	262,3	137,6	59,9	273,8	97,8	226,7	202,7	152,6	229,7	200,0
Cr	219	94	194	600	322	45	340	102	748	627	880	684	805
Y	23,3	21,0	24,5	24,0	20,1	23,6	24,9	33,0	20,5	22,1	20,2	23,3	23,2
Zr	147	97	169	137	132	202	138	166	132	143	143	134	139
Nb	8,9	4,8	10,2	12,4	6,6	9,7	14,3	10,6	11,4	10,2	8,7	11,3	10,3
Ba	277	410	299	268	283	339	264	316	227	237	240	252	248
F	17,8	25,8	18,1	19,8	12,7	7,7	13,9	10,6	15,3	14,7	8,7	14,2	11,8
H ₂ O	0,0133	0,0175	0,0255	0,0209	0,0358	0,0269	0,0233	0,0014	0,0004	0,0113	0,0008	0,0117	0,0080
La/Yb	8,15	7,83	9,10	10,47	7,21	8,56	11,78	9,81	9,32	8,92	8,21	9,10	10,34
ΣREE	102,9	76,8	107,1	116,4	79,3	107,5	122,1	151,7	94,2	105,6	92,0	109,9	109,3
Cr/V	1,6	0,4	1,4	2,3	2,3	0,8	1,2	1,0	3,3	3,1	5,8	3,0	4,0
Ba/Y	11,9	19,5	12,2	11,2	14,1	14,4	10,6	9,6	11,1	10,7	11,8	10,8	10,7
F/B	1,3	0,6	1,0	1,0	0,6	2,4	3,9	7,9	2,3	2,6	4,4	1,3	3,8

Примечание. FeO* – суммарное железо. Знак «–» – содержание элемента ниже порога чувствительности микрозонда. Содержание главных элементов и воды – в масс.%. РЗЭ и редких элементов – в г/т.

Черно-зеленые сферулы				Микроиргизиты						
Номер образца										
26	40ц	40к	80	81	63-1	63-3	65-2	66	74	125
1,43	1,36	1,60	1,16	1,49	0,98	1,27	0,87	1,11	1,18	0,75
3,49	3,53	2,76	5,32	2,99	3,12	3,25	5,45	4,25	4,15	7,77
13,02	12,52	11,69	10,99	12,60	9,79	9,97	9,16	9,25	9,32	8,03
70,93	72,00	73,51	69,33	71,73	74,44	73,74	70,85	72,87	72,10	67,26
1,89	1,65	2,07	1,49	1,94	1,90	1,86	1,42	1,57	1,71	1,16
0,75	0,71	0,58	0,87	0,83	2,56	2,55	2,59	2,45	2,54	1,98
0,71	0,75	0,68	0,72	0,73	0,76	0,97	0,82	0,80	0,82	0,78
0,12	0,00	0,14	0,07	0,09	0,02	0,15	0,16	0,03	0,15	0,08
7,41	7,32	6,47	9,69	7,44	6,08	6,02	8,45	7,17	7,59	11,44
0,13	-	0,06	0,14	-	0,07	-	-	0,19	-	0,17
0,06	0,09	0,37	0,14	0,14	0,27	0,17	0,15	0,22	0,38	0,50
0,07	0,07	0,08	0,11	0,03	0,03	0,05	0,07	0,10	0,07	0,09
100,01	100,00	100,01	100,03	100,01	100,02	100,00	99,99	100,01	100,01	100,01
21,6	19,8	16,8	17,2	16,4	15,6	14,4	14,8	14,4	14,8	11,6
46,7	39,9	36,8	39,3	36,8	32,5	29,6	29,0	27,1	30,6	23,7
20,3	17,3	16,0	16,0	13,6	13,0	12,8	12,4	11,7	13,3	9,1
3,92	3,48	3,22	3,29	3,21	2,76	2,60	2,23	2,38	2,60	1,66
1,29	0,66	0,79	0,63	0,52	0,69	0,49	0,41	0,11	0,23	0,38
3,18	2,86	4,31	3,34	3,93	2,05	1,84	2,04	1,96	2,62	2,33
3,28	2,98	2,58	2,85	2,43	2,38	2,19	2,26	1,94	2,18	1,62
2,20	1,86	2,01	1,79	1,77	1,86	1,62	1,56	1,56	1,65	1,19
2,56	1,77	1,58	1,86	1,47	1,73	1,88	1,68	1,58	1,62	1,34
36,3	33,7	35,8	32,6	31,9	29,4	28,1	21,3	23,2	26,8	16,5
2,16	1,69	1,67	1,59	1,61	1,19	1,18	1,05	1,03	1,12	0,79
12,1	3,8	2,6	1,9	15,9	5,3	4,8	1,6	1,5	2,7	0,8
4293	4072	3849	3787	3906	4574	4315	4311	4226	4260	3753
214,3	126,9	124,3	108,2	206,0	74,6	71,4	50,5	52,7	58,8	41,8
296	204	207	328	243	221	223	251	219	261	317
18,9	17,7	15,5	16,2	15,9	14,0	12,9	13,1	12,7	12,7	11,1
182	175	171	183	162	307	295	295	298	307	289
13,5	12,4	11,1	11,3	10,8	12,0	11,4	10,9	10,7	10,9	8,9
268	236	233	249	214	454	427	417	412	424	324
He оп.	6,7	5,4	6,6	10,5	11,3	13,6	8,4	13,0	9,7	8,7
" "	0,0466	0,0301	0,0244	0,0492	0,0630	0,1461	0,0394	0,0583	0,0595	0,0174
8,44	11,15	10,58	9,28	11,15	9,05	7,64	8,83	9,12	9,15	8,70
105,2	90,5	84,0	86,3	80,1	72,6	67,4	66,4	62,7	69,7	52,9
1,4	1,6	1,7	3,0	1,2	3,0	3,1	5,0	4,1	4,4	7,6
14,2	13,3	15,1	15,3	13,5	32,5	33,1	31,8	32,4	33,3	29,2
He оп.	1,8	2,1	3,4	0,7	2,1	2,8	5,3	8,5	3,6	11,3

правильных шариков. Зеленые сферулы, в свою очередь, подразделяются по окраске на светло- и темно-зеленые (см. таблицу). Для светло-зеленых сферул характерна близкая к идеальной округлая форма (образец № 14), темно-зеленые сферулы отличаются от них только интенсивностью окраски. Гетерогенные сферулы иногда встречаются неправильной формы с флюидальной структурой стекла: светлое стекло преобладает над темным, присутствующим в виде линз и прослоев.

Наиболее типичные микротектиты были проанализированы локально, как правило, в центре сферулы, на содержание главных, редких и редкоземельных элементов (РЗЭ). Для черно-зеленых сферул была также проанализирована черная кайма (см. таблицу, № 40к). Отдельно был исследован состав светлых (№ 50-1 и 50-3 в таблице) и темных (№ 50-2) прослоев в гетерогенной сферуле. Микроиргзит каплевидной формы был проанализирован в верхней тонкой (№ 63-1) и в нижней утолщенной (№ 63-3) частях. Главные элементы в рассматриваемых образцах определялись на электронном микроанализаторе Link AN-1000 в ИГТД РАН (аналитик М. Д. Толкачев). В тех же точках было определено содержание редкоземельных и редких элементов на ионном микрозонде Cameca IMS-4f в ИМИ РАН, г. Ярославль (аналитики С. Г. Симакин и Е. В. Потапов), по стандартной методике [12]. Погрешность каждого анализа по данным о воспроизводимости стандартов и стандартным отклонениям составляет менее 10 отн. % для большинства элементов. Набор интенсивности производился в трех циклах с общим временем 20–30 мин. Размер ионного пучка в зоне анализа составлял около 20 микрон. Методика локального определения содержания F на ионном микрозонде изложена в работе [13]. Состав микротектитов (24 анализа) был сопоставлен с изученными ранее иргзитами (17 анализов), кислыми жаманшинитами (7 анализов) и импактитами основного состава (5 анализов) (см. [10, 11]).

По содержанию главных элементов (см. таблицу) темно-зеленые микротектиты значительно отличаются от светло-зеленых и черно-зеленых сферул повышенными количествами Fe, Mg, Ni и пониженным кремнезема. Такие особенности состава характерны и для «бутыльно-зеленых» микротектитов в сравнении с «нормальными» [1, 3, 4]. В черно-зеленых сферулах черная кайма отличается от центральной части сферулы более высокими содержаниями Mn, Ni и щелочей. Концентрации редких и редкоземельных элементов в краевой и центральной частях черно-зеленой сферулы практически близки.

На диаграмме соотношения кальциевости и глиноземистости (рисунок, А) черно-зеленые сферулы от других групп микротектитов отличаются пониженным содержанием Ca, а также попадают в центр поля составов кислых жаманшинитов, однородных по Ca, но имеющих значительный разброс по глиноземистости. Больше всего глинозема установлено в желтых пемзах, образовавшихся по глинистым породам [14 и др.], а наименьшее – в черных стеклах. Поскольку кислые жаманшиниты, состоящие из переслаивающихся черного стекла и желтой пемзы, обнаруживают следы повторного переплавления с появлением на месте пористых желтых пемз струйчатых новообразованных стекол (полевые наблюдения 2004 г.), можно предположить формирование черно-зеленых сферул непосредственно по кислым жаманшинитам в результате повторного импактного события [10, 14]. По пониженному содержанию кремнезема к черно-зеленым сферулам близки гетерогенные микротектиты, которые характеризуются резко повышенными кальциевостью и глиноземистостью, особенно в области темного стекла (см. таблицу, № 50-2). Точка состава темного стекла наиболее близко расположена к компактному полю импактных стекол основного состава, образованных по эффузивам (рисунок, А). Темное стекло гетерогенной сферулы значительно отличается по геохимии от участков светлого стекла повышенными концентрациями летучих В и F, а также Ti, V, Ba и пониженными Cr, Zr, Nb и РЗЭ, особенно в области легких РЗЭ. Более высокая глиноземистость свидетельствует о значительной роли глинистых пород в образовании как гетерогенных, так и зеленых сферул.

Микроиргзиты характеризуются повышенным содержанием Ni, как и темно-зеленые сферулы, и пониженным Na и глинозема (см. таблицу). Верхняя и нижняя части капли микроиргзита отличаются по количеству воды; по другим элементам значимых различий в составе не наблюдается. На диаграмме соотношения Ba/Y и содержания SiO₂ (см. рисунок, Б) микроиргзиты и иргзиты создают компактное поле, не пересекающееся как с другими микротектитами, так и с импактными стеклами – жаманшинитами. Ba и Y являются элементами, устойчивыми к процессам испарения, а изменение их отношения, наряду с положительной корреляцией с SiO₂ в пределах одной группы импактитов, указывает на смеси-

вание по меньшей мере двух разнотипных пород мишени (например, глины и лёссов) [10 и др.]. Близкое расположение черно-зеленых сферул к тренду кислых жаманшинитов также говорит в пользу предположения об образовании этой группы микротектитов по кислым жаманшинитам.

Микроиргизиты и иргизиты отличаются от остальных групп микротектитов и импактных стекол большим количеством тугоплавкого элемента Zr (рисунок, В). Предыдущие исследования распределения РЗЭ в импактных стеклах кратера Жаманшин [10], микротектитов и тектитов из других полей рассеяния [8 и др.] показали практически полное совпадение графиков нормированного по хондриту распределения РЗЭ в тектитовых и импактитовых породах, близких к усредненному значению для постархейских осадочных пород. Поэтому сами спектры РЗЭ малоинформативны, достаточно использовать сумму РЗЭ и La/Yb отношение. Суммарное содержание РЗЭ последовательно снижается в ряду микротектитов от светло-зеленых сферул к темно-зеленым и черно-зеленым, наименьшая сумма РЗЭ отмечена для микроиргизитов (см. таблицу и рисунок, В). Аналогично от светло-зеленых сферул к микроиргизитам меняется концентрация Y – элемента, геохимически близкого к тяжелым РЗЭ.

Микроиргизиты и темно-зеленые сферулы характеризуются повышенным (более 3,0) Cr/V отношением (см. таблицу и рисунок, Г), свидетельствующим о возможной контаминации метеоритным веществом. В пользу этого говорит и большое содержание Ni в микроиргизитах и темно-зеленых микротектитов. Минимальные Cr/V отношение и концентрация Cr отмечены для импактных стекол основного и кислого составов. Промежуточное положение между темно-зелеными сферулами и жаманшинитами (см. рисунок, Г) занимают остальные группы микротектитов. Содержание Cr сильно варьирует даже в пределах одной группы микротектитов – от 45 до 340 г/т для светло-зеленых сферул. Такой разброс при одинаковом Cr/V отношении можно объяснить влиянием состава материнских пород мишени. При близком количестве Cr в микроиргизитах, черно-зеленых и гетерогенных сферулах только микроиргизиты имеют повышенное Cr/V отношение, даже большее, чем собственно иргизиты.

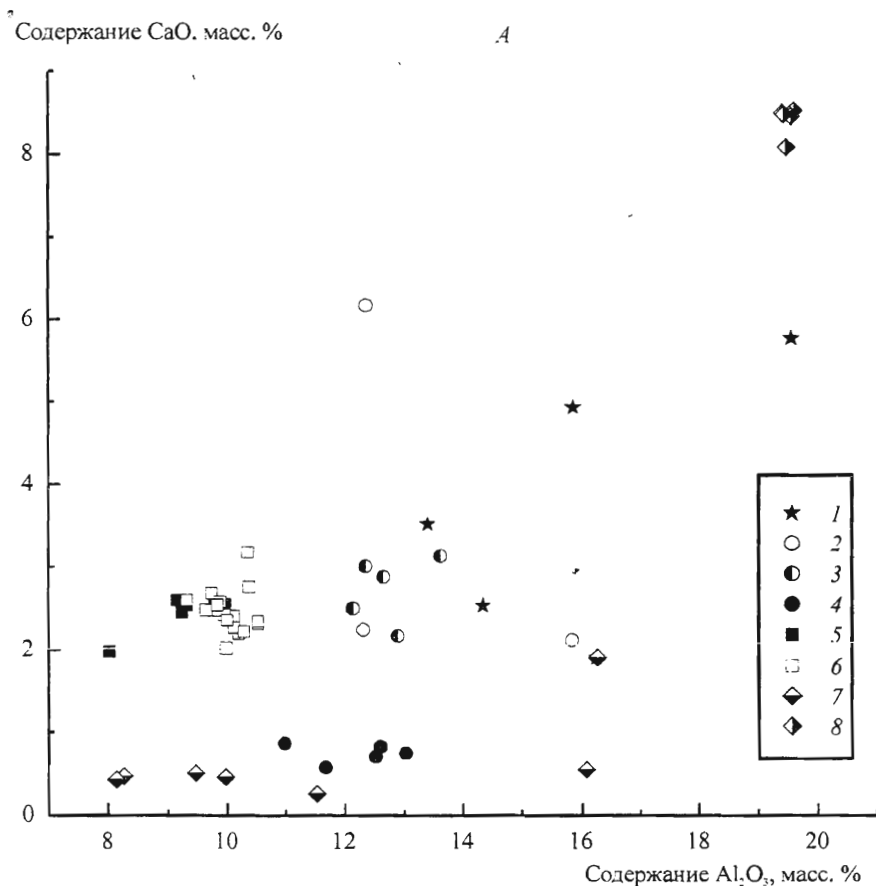
Концентрация летучих элементов F и B примерно одинакова почти для всех типов микротектитов, за исключением гетерогенных сферул с повышенным содержанием этих элементов (см. таблицу). Данный факт говорит о сходных условиях образования зеленых сферул и микроиргизитов, сопровождающихся интенсивным удалением летучих элементов, которых в жаманшинитах в несколько раз больше, чем в микротектитовых породах.

Основными количественными критериями отличия тектитов от «нормальных» импактных стекол являются F/B отношение и содержание воды [1, 2 и др.]. Именно по этим параметрам ($F/B > 2-3$, а H_2O больше 0,03 масс.%) иргизиты были выведены некоторыми исследователями из семейства тектитов [15–17], а сам кратер Жаманшин стал рассматриваться как пример ограниченного проявления только импактных стекол [2]. Применение локальных методов анализа летучих элементов и воды на ионном микрозонде впервые позволило определить эти параметры для микроскопических объектов – микротектитов кратера Жаманшин, ранее недоступных для такого исследования (см. таблицу и рисунок, Д). В результате установлено, что некоторые микроиргизиты, по составу идентичные иргизитам, даже по вышеназванным формальным признакам (например, F/B отношению) могут считаться тектитовыми, как и предлагалось ранее [5]. Остальные выделенные группы микротектитов большей частью попадают в «поле тектитов» с $F/B < 3$ и содержанием H_2O , не превышающим 0,03 масс.% (см. рисунок, Д).

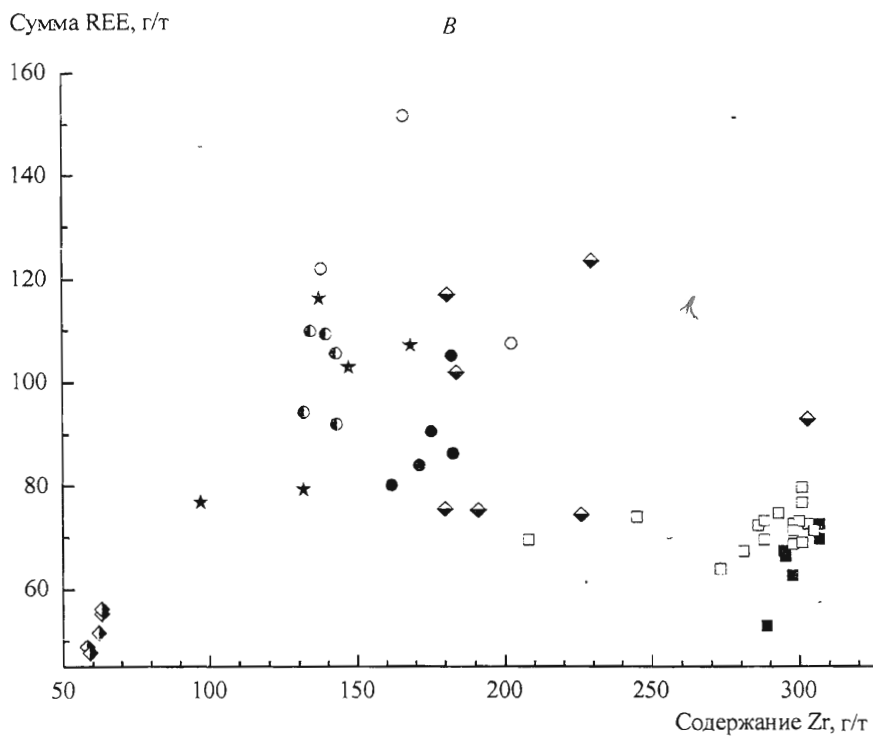
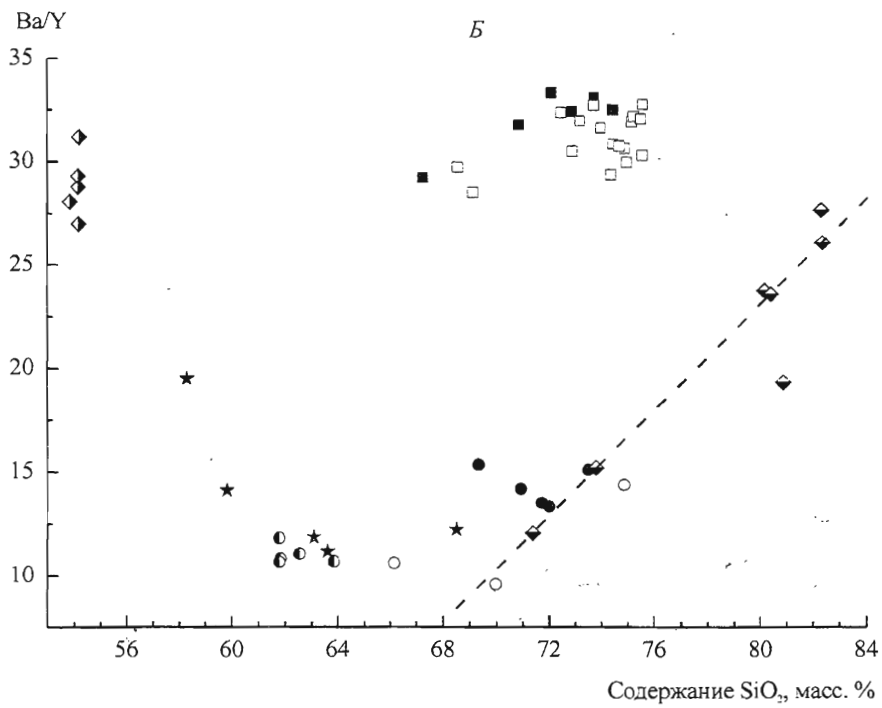
Проведенное нами исследование позволяет сделать следующие выводы:

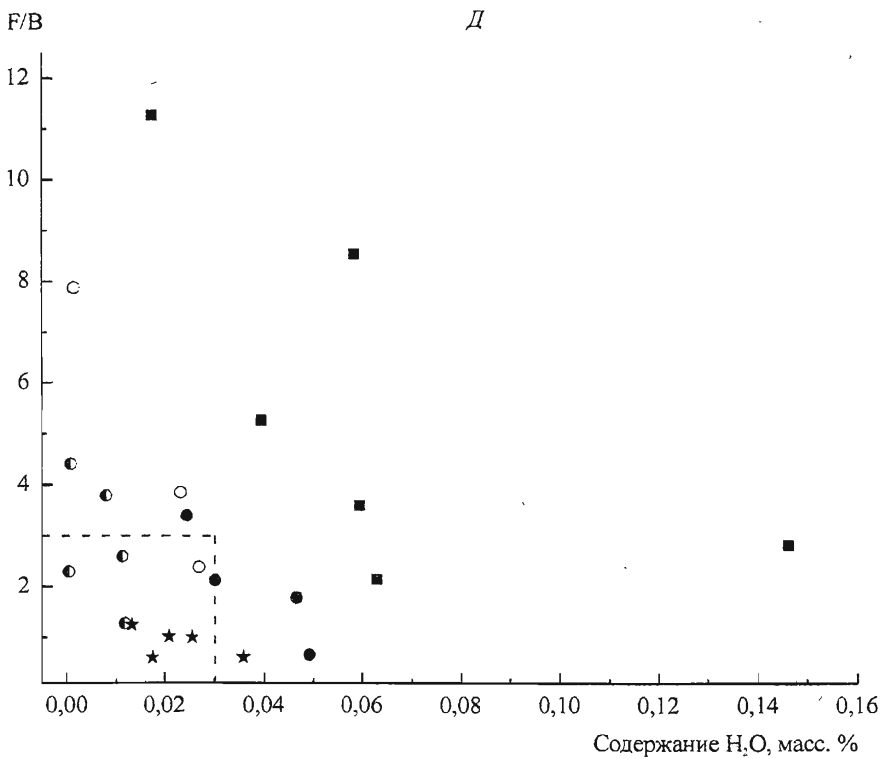
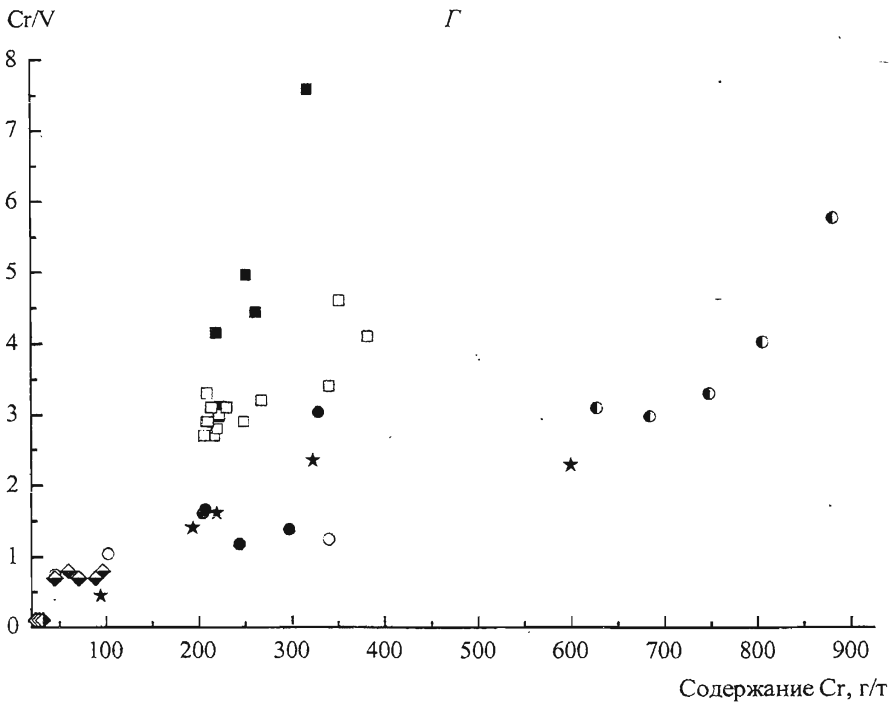
1. Микротектиты кратера Жаманшин разделяются на несколько групп, отличающихся и по морфологии (в первую очередь окраске), и по содержанию главных и редких элементов.

Вариации состава между выделенными группами микротектитов обусловлены участием в их образовании различных пород мишени и импактных стекол кратера. Микроиргизиты по составу идентичны иргизитам стандартного размера и значительно отличаются по геохимии от остальных групп микротектитов. Черно-зеленые сферулы близки по составу к кислым жаманшинитам, в результате переплавления которых и были предположительно образованы. Поэтому для черно-зеленых сферул, по аналогии с микроиргизитами, мы предлагаем использовать термин «микрожаманшиниты». Гетерогенные сферулы сформированы как по глинистым породам, так и по эффузивам основного состава, что подчеркивается их сходством с импактитами основного состава. В возникновении светло- и темно-зеленых сферул решающую роль сыграли глинистые породы.



Соотношения кальциевости и глиноземистости (A), Ba/Y – SiO₂ (B), Zr и суммы PЗЭ (B), Cr и Cr/V (Г), H₂O и F/B (Д) в микротектитах и импактных стеклах кратера Жаманшин.
 1–4 – сферулы: 1 – гетерогенные, 2 – светло-зеленые, 3 – темно-зеленые. 4 – черно-зеленые; 5 – микроиргизиты; 6 – иргизиты; 7 – кислые жаманшиниты; 8 – импактиты основного состава. Линия на B обозначает результат смешивания различных коровых компонентов при образовании кислых жаманшинитов (по [10]), линия на Д разделяет поля составов тектитов и импактных стекол из других регионов (по [15, 17 и др.]).





Окончание рисунка.

2. Наиболее информативны для разделения групп микротектитов и установления их генезиса индикаторные отношения элементов (Ba/Y, Cr/V, F/B).

3. Микротектиты кратера Жаманшин характеризуются разной степенью контаминации метеоритным веществом, что устанавливается по Cr/V отношению и концентрации Ni. В микроиргизитах и темно-зеленых сферах количество метеоритного вещества максимально. Темно-зеленые сферы являются аналогами «бутылочно-зеленых» микротектитов, обнаруженных почти во всех полях рассеяния тектитов.

4. По величинам F/B отношения и содержанию воды микротектиты кратера Жаманшин соответствуют тектитам из других регионов. Присутствие микротектитов непосредственно в импактном кратере делают изученный кратер уникальным объектом для исследования процессов импактогенеза.

Summary

Skublov S. G., Lovjagin V. A., Skublov G. T., Tugay O. M. The geochemistry of microtektites from the Zhamanshin Crater.

The geochemistry of microtektites from the Zhamanshin Crater is studied in situ by ion microprobe. Differences in contents for microtektite groups are due to participation different rocks of target and impact glasses in their origin.

Литература

1. Heinen G. Tektites – witnesses of cosmic catastrophes. Luxembourg, 1998.
2. Montanari A., Koeberl C. Impact stratigraphy: the Italian record. Berlin, 2000.
3. Glass B. P. Bottle-green microtektites // J. Geophys. Res. 1972. Vol. 77.
4. Bohor B. F., Koeberl C. Are microtektites really micro-tektites? // Meteor. Planet. Sci. 1996. Vol. 31.
5. Флоренский П. В., Дабижва А. И. Метеоритный кратер Жаманшин. М., 1980.
6. Izokh E. P. Microtektites of the Zhamanshin impact crater: key facts to the microtektite problem // Meteoritics. 1994. Vol. 29.
7. Glass B. P., Fredriksson K., Florensky P. V. Microirgizites recovered from a sediment sample from the Zhamanshin impact structure // J. Geophys. Res. 1983. Vol. 88. Suppl.
8. Huber H., Koeberl C., Glass B. P. Geochemical study of microtektites, bediasites, and georgiites from the upper Eocene North American tektite strewn field // Abstr. 63rd Ann. Meteor. Soc. Meet. 2000.
9. Harting M., Kramar U., Rickers K., Studen D. Multielemental investigations on tektite material (spherules) of K/T-boundary using synchrotron radiation XRF: old material, new results // HASYLAB Ann. Report. 2002. Pt 1.
10. Скублов С. Г., Тюгай О. М. Геохимия импактных стекол кратера Жаманшин (по данным ионного микрозонда) // Геохимия. 2005. № 7.
11. Скублов С. Г., Тюгай О. М. О распределении редких элементов в импактных стеклах кратера Жаманшин (сопоставление с тектитами) // Геохимия. 2005. № 11.
12. Smirnov V. K., Sobolev A. V., Batanova V. G. et al. Quantitative SIMS analysis of melt inclusions and host minerals for trace elements and H₂O // Eos Trans. AGU. 1995. Vol. 76 (17).
13. Portnyagin M. V., Simakin S. G., Sobolev A. V. Fluorine in primitive magmas of the Troodos ophiolite complex, Cyprus: Analytical methods and main results // Geochem. Intern. 2002. Vol. 40.
14. Скублов Г. Т., Тюгай О. М. Петрохимическая модель образования тектитоподобных стекол кратера Жаманшин и связь их с лунным импактогенезом // Зап. Всерос. минерал. об-ва. 2004. № 6.
15. Mathies D., Koeberl C. Fluorine and boron geochemistry of tektites, impact glasses, and target rocks // Meteoritics. 1991. Vol. 26.
16. Koeberl C., Beran A. Water content of tektites and impact glasses and related chemical studies // Proc. 18th. Lunar Planet. Sci. Conf. 1988.
17. Beran A., Koeberl C. Water in tektites and impact glasses by fourier-transformed infrared spectrometry // Meteor. Planet. Sci. 1997. Vol. 32.

Статья поступила в редакцию 15 апреля 2005 г.